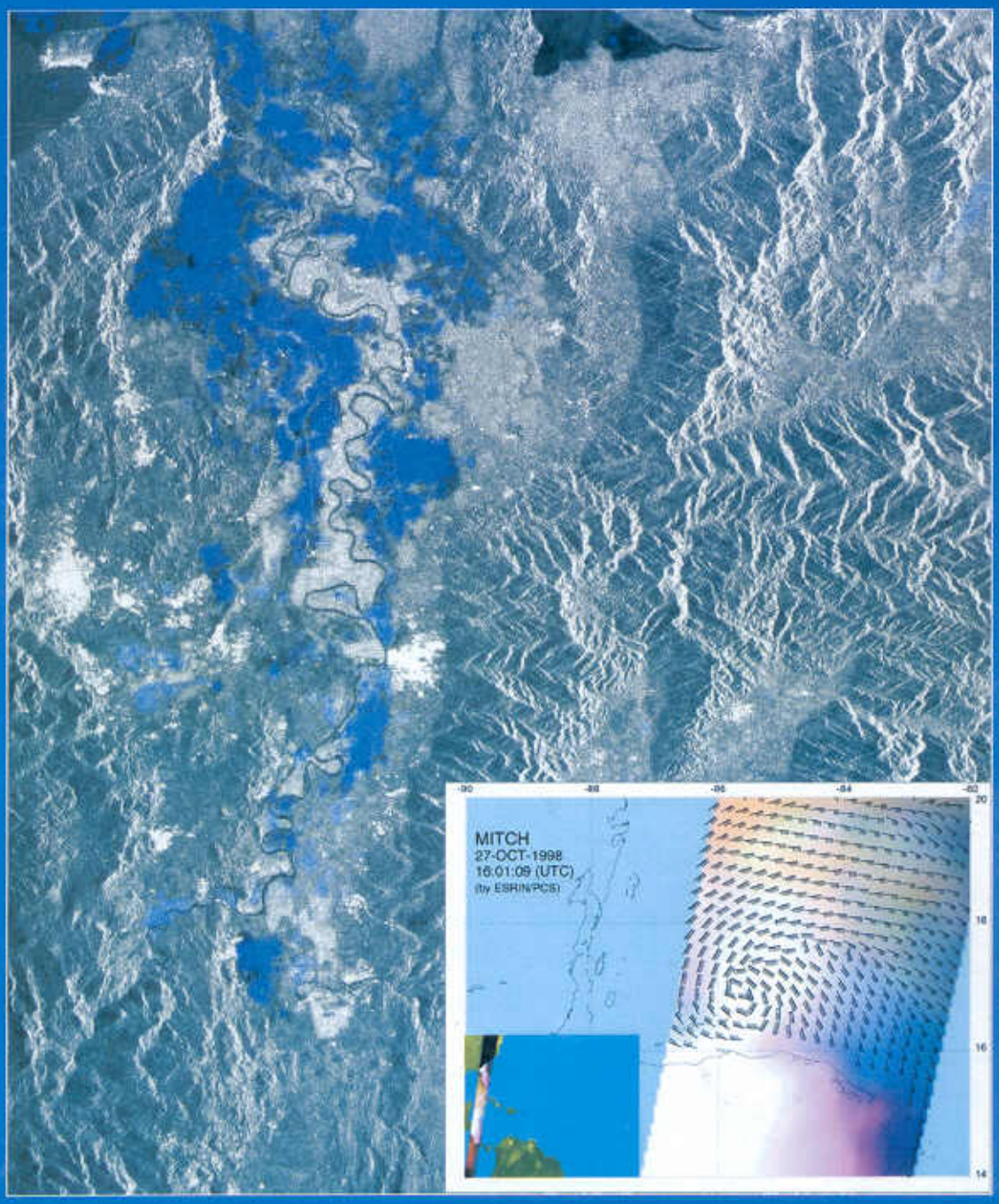
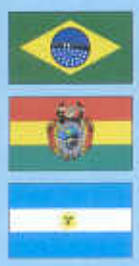
VOL. 14, Nº 1-2 JUNIO 1998 ISSN 0717-2915

Revista Journal SELPER

SOCIEDAD LATINOAMERICANA DE PERCEPCIÓN REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN ESPACIAL
SOCIEDADE LATINO-AMERICANA EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO ESPACIAL
LATINAMERICAN SOCIETY FOR REMOTE SENSING AND SPACE INFORMATION SYSTEMS





CAPITULOS CONSTITUIDOS DE SELPER

CAPITULOS EN FORMACION

CAPITULOS HONORARIOS

PLAN EDITORIAL SELPER 1996 - 2000

SOCIEDAD LATINOAMERICANA DE PERCEPCIÓN REMOTA
Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN ESPACIAL

SOCIEDADE LATINO-AMERICANA EM SENSORIAMENTO REMOTO
E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO ESPACIAI

LATINAMERICAN SOCIETY FOR REMOTE SENSING
AND SPACE INFORMATION SYSTEMS

Diagramación y Diseño: Mauricio Araya F. & Freddy Riquelme R.

AGRADECIMIENTOS - ACKNOWLEDGEMENTS

ESA - ESRIN
Via Galileo Galilei,
Casella Postale 64.
00044 Frascati (Roma).
ITALIA
Tel: (39.06) 94180.1
Fax: (39.06) 94180.280
Att: Sr. Maurizio Fea (América Latina)

ESA - Asuntos Internacionales
8-10 rue Mario Nikis,
75738 PARIS Cedex 15, FRANCIA
Tel: (33.1) 5369.7443, Fax: (33.1) 5369.7627
Att: Sra. Valerie Hood (América Latina)

Revista • Journal

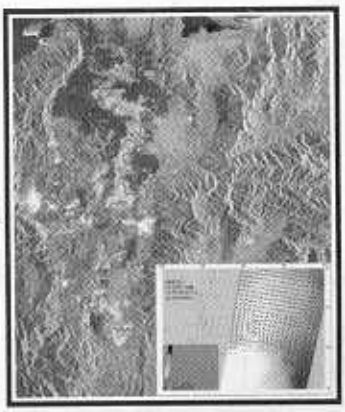
SOCIEDAD LATINOAMERICANA DE PERCEPCION REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACION ESPACIAL • SOCIEDADE LATINO-AMERICANA EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO ESPACIAL • LATINAMERICAN SOCIETY ON REMOTE SENSING AND SPACE INFORMATION SYSTEMS

SELPER

VOL. 14, Nº 1-2 JUNIO 1998 ISSN 0717-2915

FOTO PORTADA:

Los datos del radar de abertura sintética (SAR) del satélite ERS-2 de la ESA permitieron detectar las inundaciones provocadas en Honduras por el ciclón tropical Mitch. La imagen multitemporal SAR ha sido generada combinando una imagen ERS-2 SAR tomada justo después del pasaje del ciclón con una tomada antes del evento de forma que las zonas inundadas aparecen en azul. Las medidas del dispersómetro (SCAT) del mismo satélite ERS-2 permitieron también calcular el campo de viento generado por el ciclón sobre la superficie del mar en el Golfo del México (abajo a la derecha).



DIRECTOR EDITORIAL: Prof. Mauricio Araya - Figueroa
(Vice-Presidente 1980-83, Presidente SELPER 1983-86, Vice-Presidente 1986-89)
Presidente Madero 795 (Ñuñoa). Santiago, Chile.
Tel: (56.2) 696.7583 ; Fax: (56.2) 237.1559

EJEMPLAR DE DISTRIBUCION GRATUITA. **PROHIBIDA SU VENTA**

Imprimido por ESA/ESRIN.

DIRECTORIO SELPER, SEDE VENEZUELA, 1997 - 2000

Instituto de Ingeniería, Centro de Procesamiento Digital de Imágenes (CPDI).
Apartado Postal 40200, Caracas 1040 - A, Venezuela. Fax: (58.2) 903.4780 y 903.4786

PRESIDENTE
Ing. GUSTAVO RUIZ
Venezuela

VICE-PRESIDENTE
Dra. TANIA MARIA SAUSEN
Brasil

VICE-PRESIDENTE
Lic. RAMIRO SALCEDO
Venezuela

VICE-PRESIDENTE
Dr. ROMAN ALVAREZ
México

SECRETARIA GENERAL
Srta. ZAIDA PINTO
Venezuela

TESORERA
Srta. CARMEN GOITIA
Venezuela

COMITE RELACIONES INTERNACIONALES
Ing. ROBERTO RICHARDSON (Chile)
Director
Dra. SOPHIE MOREAU (Bolivia)
Prof. VALENTINO SOREANI (México)
Dra. ALICIA MOREAU (Venezuela)

COMITE EDITORIAL
Prof. MAURICIO ARAYA-FIGUEROA (Chile)
Director
Dr. ROBERTO CASTRO (Chile)
Dra. MYRIAM ARDILA (Colombia)
Dr. JORGE LIRA (México)
Ing. MIGUEL SANCHEZ PEÑA (Argentina)

COMITE DOCENCIA E INVESTIGACION
Dra. CRISTINA SERAFINI (Argentina)
Directora
Dra. TANIA MARIA SAUSEN (Brasil)
Ing. WASHINGTON ODELLA (Uruguay)
Prof. FRANCISCO GUERRA (Venezuela)

CAPITULOS NACIONALES SELPER - COORDENAÇOES NACIONAIS SELPER

CAPITULOS CONSTITUIDOS

ARGENTINA:
Dra. María Cristina Serafini, Universidad Nacional de Luján, Depto. Ciencias Básicas (PRODITEL), Rutas 5 y 7, (6.700) Luján (B). Tel.: (54.323) 21030, Fax: (54.323) 25795 / 24385.

BOLIVIA:
Dra. Sophie Moreau, Presidente ABTEMA, Casilla 14248, La Paz, Bolivia. Tel.: (591.2) 359.729 y 355.824 int. 18, Fax: (591.2) 392.307.

BRASIL:
Dra. Tania Maria Sausen, Instituto de Pesquisas Espaciais, INPE, Avda. Dos Astronautas 1758 - P. O. Box 515 (12201) São José dos Campos, SP. Tel.: (55.123) 25.6447, Fax: (55.123) 22.9325.

COLOMBIA:
Ing. Carlos Niño, Asociación de Especialistas en Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica, Carrera 30 Nº 48-51, Edificio CIAF, Oficinas 308 y 310. Tel: (57.1) 368.3666, Fax: (57.1) 368.0946.

CUBA:
Ing. Eloy Pérez-García, Geocuba-Idc, Calle 4 Nº 302, Miramar, Playa E / 3ª y 3ªA. Ap. Postal 606, Mananao 13, Ciudad de La Habana, Cuba. Tel.: (53.7) 29.3592, Fax: (53.7) 33.2869.

CHILE:
Ing. Roberto Richardson V., Tottecas 8815 (Las Condes), Santiago. Tel/Fax: (56.2) 229.7185. Universidad de Santiago, Depto. Ingeniería Geográfica. Tel/Fax: (56.2) 681.1213.

ECUADOR:
Cnel. Victor A. Medrano, Director Ejecutivo CLIRSEN, Seniergues S/N y Gral. Paz y Miño, 4º piso, Edificio IGM, Apdo. 8216, Quito, Tel: (593-2) 549-472 y 542-700, Fax: (593-2) 581-066.

MEXICO:
Dr. Valentino Soreani, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, Apartado Postal 20-850, 01000, México, D.F. Tel.: (52.5) 622.4339 / 4340 / 4341, Fax: (52.5) 616.2145.

PANAMA:
Aura B. Reina, Ministerio de Comercio e Industrias, Dirección General de Recursos Minerales, A.P. 8515, Zona 5, Panamá. Tel.: (507) 36-1823/36-1825, Fax: (507) 36-3173.

PERU:
Ing. Walter Danjoy Arias, ITD (Información, Tecnología y Desarrollo), Libertad Nº 497, Of. 301 (Miraflores), Lima 18, Perú. Tel.: (51.14) 466.097, Fax: (51.14) 454.121 y 440.660.

URUGUAY:
Crnel. Washington Odella, Director Servicio de Sensores Remotos Aeroespaciales, Fuerza Aérea, Brigada Aérea 1, Ruta 101 km. 19, Carrasco - Canelones. Tel.: (598) 600.257 y 611.701 int. 3771, Fax: (598) 616.910.

VENEZUELA:
Ing. Gustavo Ruiz, Jefe Centro Procesamiento Digital de Imágenes (CPDI), Instituto de Ingeniería, Apartado 40.200, Caracas 1040 A. Tel.: (58.2) 962-1124, Fax: (58.2) 962-1025.

CAPITULOS EN FORMACION

COSTA RICA:
M. Sc. Carlos L. Elizondo, Instituto Geográfico Nacional, Apdo. Postal 2272, San José de Costa Rica CP 1000, Costa Rica. Tel: (50.6) 272.188, Fax: (50.6) 257.5246.

EL SALVADOR:
Ing. Jorge García Escobar, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Rep. Los Rosales Pje. 2 Nº 14-C San Salvador, El Salvador.

GUATEMALA:
Ing. Carlos Lemmerhoffer A., Supervisor Técnico, Instituto Geográfico Nacional (IGN), 23 Avenida 31-60, Zona 12, Guatemala 01012. Tel: (502-2) 764071, FAX: (502-2) 343412.

JAMAICA:
Ing. Christian Wolffe, College of Arts, Science and Technology, 237 Old Hope Road, Kingston 6, Jamaica. Tel.: (809) 92-71680/8, Fax: (809) 92-71925.

PARAGUAY:
Ing. Facundo S. Recalde Ramos, Servicio Forestal Nacional, Tacuari entre 25 de Mayo y Cerro Corá, Edificio Patria 4, 6º piso, Asunción, Paraguay. Tel: 493793.

REP. DOMINICANA:
Ing. Orlando Adams I., Instituto Geográfico Universitario, Calle El Vergel 57, Santo Domingo, Rep. Dominicana. Tel: 5672823.

CAPITULOS ESPECIALES

ALEMANIA:
Dr. Klaus Reiniger, Deutsche Forschungsanstalt Für Luft-Und Raumfahrt (DLR), D-8031 Oberpfaffenhofen, Deutschland. Tel.: (49.8153) 281.189, Fax: (49.8153) 281.443.

CANADA:
Dr. Fritz P. Dubois, 25 Midland CRS, Nepean ONTARIO K2J - 8N2, Canada. Tel.: (613) 596-4164, Fax: (613) 723-9626.

ESPAÑA:
Dr. José L. Labrandero, Director Editorial Asociación Española de Teledetección (AET), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Pinar 25, Madrid 28006, España. Tel: (91) 411.10.98, Fax: (91) 562.55.67.

USA:
Dra. Patricia M. Ravelo, Earth Satellite Corp. (EARTHSAT), 6811 Executive Blvd., Suite 400, Rockville, MD-20852-3904, USA. Tel: (1.301) 231.0660.

FRANCIA:
Dr. Jean-Luc Devynck, Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Chef Dpt. Coopération et Développement, 2, Place Maurice Quentin, 75039 Paris Cedex 01, Francia. Tel: (33.1) 447.67500, Fax: (33.1) 447.67849.

HOLANDA:
Prof. Dr. K. J. Beek / Dr. Carlos Valenzuela, ITC, 350 Boulevard 1945, P.O.X. 6, 7500 AA Enschede, Holanda. Tel.: (31) 53.874.444, Fax: (31) 53.874.400.

ITALIA:
Dr. Maurizio Fea, ESA / ESRIN, Via Galileo Galilei, Casella Postale 64, 00044 Frascati (Roma), Italia. Fax: (39.06) 94180 280.

JAPON: en formación.

PORTUGAL, KENIA, GANA, NIGERIA, ETIOPIA: Actualmente en formación, a través del Capítulo SELPER Brasil (INPE).

Nota del Director Editorial SELPER: *La actualización de las direcciones es de exclusiva responsabilidad de los Capítulos Nacionales y la Sede Central de Turno de SELPER.*

COMITE EDITORIAL

DIRECCION EDITORIAL

DIRECTOR EDITORIAL

Prof. MAURICIO ARAYA F. (Chile)
Presidente SELPER (1983-1986)
Presidente Madero 795 (Ñuñoa)
Santiago, Chile
Tel: (56.2) 696.7583, Fax: (56.2) 237.1559

SUBDIRECCIÓN RELACIONES INTERNACIONALES

Ing. Miguel Sánchez Peña (Argentina)

SUBDIRECCIÓN CIENTÍFICA (1995 - 1997)

Dr. Luis A. Bartolucci (EE. UU. / Bolivia)
Dr. Paulo Roberto Martini (Brasil)
Dr. Jorge Lira (México)
Prof. Marcelo Campi (Argentina)
Dr. Leonardo Gónima (Colombia)

SUBDIRECCIÓN CIENTÍFICA (1997 - 2000)

Dr. ROBERTO CASTRO (Chile)
Subdirector Editorial
Geodesia Satelital, Fotogrametría, Modelos Digitales de Terreno.
Pontificia Universidad Católica de Chile.
Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal.
Vicuña Mackenna 4860. Santiago, Chile.
Tel: (56.2) 686.5770, Fax: (56.2) 552.0780
E-mail: rcastro@puc.cl

Dra. MYRIAM ARDILA (Colombia)
Sistema de Información Geográfica, Integración de Datos, Normas y Estándares.
Universidad Distrital San Antonio de Caldas
Carrera 88 B Nº 41-50 interior 4 apto 304.
Santa Fe de Bogotá, Colombia.
Tel: (57.1) 416.3306, Fax: (57.1) 368.0946
E-mail: mardilat@latino.net.co

Dr. JORGE LIRA (México)
Procesamiento de Imágenes, Reconocimiento de Patrones, Aplicaciones.
Instituto de Geofísica. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
México, D.F., México
Tel: (52.5) 622.4339, Fax: (52.5) 616.2145

EXPERTOS REVISORES (1997 - 2000)

Dr. JOÃO ROBERTO DOS SANTOS (Brasil)
Dra. THELMA KRUGG (Brasil)
Dra. TANIA MARÍA SAUSEN (Brasil)
Dr. JOÃO ANTONIO LORENZETTI (Brasil)
Prof. MARCELO CAMPI (Argentina)
Prof. JAIME BACKITT (Chile)

COMITE PUBLICACIONES (SELPER-CHILE)

Editor Técnico
Sr. HERNÁN FIGUEROA R.

Diagramación Electrónica
Sr. A. FREDDY RIQUELME R.

Traducción e Interpretación
Prof. MAURICIO ARAYA F.
Srta. ADRIANA VIDAURRE O.

Arte y Diseño
Prof. MAURICIO ARAYA F.
Sr. A. FREDDY RIQUELME R.

ISSN 0717-2915

INDICE TEMATICO

Pag.

- **SPATIAL PATTERN ANALYSIS IN THE ARID AND SEMIARID REGIONS OF PATAGONIA: LAND DEGRADATION STRUCTURE**
  Héctor F. Del Valle 5

- **ANÁLISE DA IMAGEM JERS-1 PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA AÉREA DE FLORESTAS TROPICAIS NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA**
  João Roberto dos Santos, María Silvia Pardi Lacruz, Manfred Keil, Hermann Johann Heinrich Kux, Maristela Ramalho Xaud 12

- **MODELADO DE DATOS EN TELEDETECCIÓN: BASES TEÓRICAS Y APLICACIONES AMBIENTALES**
  Emilio Chuvieco y Marcela Sánchez 17

- **EL TIEMPO DE LOS MICRO - SATÉLITES**
  Héctor Gutiérrez Méndez 26

- **SEGUIMIENTO DE LAS CUBIERTAS VEGETALES POST- INCENDIOS FORESTALES EN LA ZONA MEDITERRANEA COSTERA DE CHILE**
  Víctor Quintanilla Pérez, Roberto Castro Ríos 30

- **SISTEMA DE INFORMACION DE TIERRAS SIRT PARA LA EVALUACION Y OPTIMIZACION DE UN USO AGRICOLA SOSTENIBLE**
  Autor: Proyecto "Información sobre Tierras Agrícolas y Aguas para un Desarrollo Agrícola Sostenible" FAO GCP/RLA/126/JPN 36

Composición de Textos, Scanner y Películas PostScript:
GCA PUBLICIDAD LTDA.
Catedral 1063, Local 1053. - Fono/Fax: (56.2) 6990323, Santiago, Chile
Editado por: SELPER EDICIONES LTDA.
Presidente Madero 795 (Ñuñoa). Fax: (56.2) 237.1559. Santiago, Chile
Impresión: Colaboración de la Agencia Espacial Europea (ESA / ESRIN)

EJEMPLAR DE DISTRIBUCION GRATUITA — PROHIBIDA SU VENTA

PLAN EDITORIAL SELPER 1996-2000

Después de una lamentable interrrupción en la continuidad de nuestras Publicaciones (por casi 4 años), producto de diferencias internas muy intensas, finalmente este Directorio SELPER 1997-2000, junto a los Coordinadores Nacionales, ha decidido apoyar el Plan Editorial 1996-2000 propuesto por el Prof. Mauricio Araya F. (Director Editorial SELPER), para así llenar de la mejor forma posible este vacío editorial y conservar nuestros números ISSN. Ello, considerando la gran utilidad que representan las Publicaciones SELPER (Revista Científica y Boletín Noticias) para nuestra Sociedad. El Plan Editorial SELPER 1996-2000 básicamente consistirá en:

I. PUBLICACIÓN SEMESTRAL DE LA REVISTA TÉCNICA/CIENTÍFICA SELPER.

Para los años **1996, 1997** y **1998,** se publicará un número único, reuniendo los dos semestres y fechados simbólicamente en Junio de cada año. Así, tendremos: *Vol. 12, Nº 1-2, 1996; Vol. 13, Nº 1-2, 1997; Vol. 14, Nº 1-2, 1998.* Para realizar esta obra, se contó con el valioso patrocinio de la **Agencia Espacial Europea (ESA),** con el especial apoyo del **Dr. Maurizio Fea** *(ESA/ESRIN)* y la **Dra. Valerie Hood** *(Relaciones Internacionales ESA)*, a quienes SELPER agradece en forma especial. También reconocemos el valioso trabajo del Comité de Expertos que conformó los *Volúmenes 1996 y 1997* (*Dr. João Roberto Dos Sàntos, Dra. Thelma Krugg, Dr. João Antonio Lorenzetti y Dra. Tania Maria Sausen*, de Brasil); esta iniciativa se decidió en el XVIII Congreso Mundial de la ISPRS en Viena, Julio 1996, con el *Dr. Roberto Pereira Da Cunha*. También agradecemos al grupo de Profesores de la Pontificia Universidad Católica de Chile (conducidos por el *Dr. Roberto Castro*), quienes fueron responsables del *Volumen 1998* y a la *Srta. Cecilia Mosso* (CONICYT, Chile).

Para **1999** está contemplado publicar dos Volúmenes, conteniendo la Primera y Segunda Parte de un Curso Fundamental de Sistemas de Información Geográfico (SIG), escrito por el **Prof. Dr. Shunji Murai** (Presidente ISPRS 1992 - 1996), de la Universidad de Tokio, *Japón*, como una forma de ampliar los horizontes de cooperación internacional de SELPER.

Para el año **2000**, se espera estar plenamente actualizados y publicar dos volúmenes semestrales, financiados por varias agencias patrocinadoras y conteniendo diversos tópicos , como era la tradición normal de estas publicaciones.

II. PUBLICACIÓN SEMESTRAL DEL BOLETÍN NOTICIAS SELPER.

Esta publicación ha demostrado su utilidad para difundir noticias de interés para los Socios, resúmenes de Congresos, Simposios, Cursos, organizados por SELPER y otras instituciones internacionales, de modo de mantener nuestra Revista/Journal SELPER conteniendo solamente artículos técnicos y científicos. Para **1996, 1997, 1998 y 1999** se publicará un número único, abarcando los dos semestres y fechado simbólicamente en Junio de cada año: *Vol. 9, Nº 1-2, 1996; Vol. 10, Nº 1-2, 1997; Vol. 11, Nº 1-2, 1998; Vol. 12, Nº 1-2, 1999.* Para el año **2000** se publicarán separadamente los dos volúmenes semestrales.

Esperamos contar con el apoyo de todos los Socios SELPER y organizaciones internacionales amigas, para llevar a feliz término este Plan Editorial 1996-2000. Les invitamos a enviar sus contribuciones, ya sea para la Revista SELPER (Vol. 16, Nº 1 y 2, 2000) o para el Boletín Noticias SELPER (Vol. Nº 9, 1996 al Vol. Nº 13, 2000).

Gustavo Ruiz
Presidente SELPER

Ramiro Salcedo
Vice-Presidente SELPER

Mauricio Araya
Director Editorial SELPER

Roberto Castro
Subdirector Editorial

Myriam Ardila
Subdirección Científica

Jorge Lira
Subdirección Científica

NORMAS PARA LOS AUTORES

Los artículos enviados serán sometidos a revisión por los correspondientes Subdirectores Científicos, según la temática indicada para estos integrantes del Comité Editorial. Independientemente de ello, éstos podrán asesorarse adicionalmente por un Experto en el tema, además de solicitar opinión a un Experto del país del Autor, para asegurarse del nivel científico del trabajo, dados los diversos grados de avance técnico-científico de los Capítulos Miembros de SELPER.

Los trabajos aprobados serán publicados en estricto orden, de acuerdo a las fechas de llegada de las diversas contribuciones. Los idiomas oficiales SELPER son: Español, Portugués, Inglés (excepcionalmente podrán admitirse otros idiomas, en especial para el Resumen inicial). El trabajo presentado deberá estructurarse al menos en las siguientes secciones:

a) Título del Trabajo, Nombres de los Autores y Direcciones Completas.
b) Resumen (no más de 150 palabras), indicando al final las Palabras Claves. Deberá incluirse en Español o Portugués, además de Inglés.
c) Introducción o Planteamiento General
d) Objetivos
e) Metodología empleada y materiales
f) Resultados obtenidos
g) Discusión y Conclusiones
h) Bibliografía, indicando: Autores, Año, Título, Revista o medio donde fue publicado (incluyendo Vol. y páginas, cuando corresponda). Serán citadas en el texto indicando el Autor y el Año.

Los Títulos y Subtítulos de cada sección deberán estar claramente indicados (ya sea con numeración o tamaños de letras). Las Tablas, Fotos y Figuras deberán ser suficientemente nítidas para ser publicadas a 1 o 2 columnas, indistintamente. Se recomienda enviar ampliaciones, con el título y leyendas correspondientes.

Es imprescindible enviar una copia en forma electrónica (usando lenguajes universales para textos, tablas, figuras y fotos), además de una copia impresa (hard copy), incluyendo colores cuando corresponda. La extensión total del trabajo (incluyendo textos, tablas, figuras y fotos) no deberá superar las 10 páginas en formato carta o DIN 4. Los trabajos podrán enviarse al Director Editorial o a los Subdirectores Científicos, en las direcciones indicadas en la página del Índice temático.

SPATIAL PATTERN ANALYSIS IN THE ARID AND SEMIARID REGIONS OF PATAGONIA: LAND DEGRADATION STRUCTURE

Héctor F. Del Valle

Centro Nacional Patagónico (CENPAT)-CONICET
C.C. 128 - 9120 Puerto Madryn (CHUBUT). Argentina
Te: 54-02965-451024. Fax: 54-02965-451543. E-Mail: delvalle@cenpat.edu.ar

Abstract

Both human and natural disturbances alter the structure and function of ecological systems. Quantification of these changes at local and regional scales provides driving data for spatial ecosystem models. The objective of this study was to quantify land degradation structure (fragmentation/patchiness) in the arid and semiarid regions of Patagonia. Data were obtained from existing remote sensing data, specialist local knowledge, and intensive field observations. A grid cell based spatial pattern analysis program (FRAGSTAT) was utilized and land status were distinguished by spatial relationships among five-land degradation status. The data used in this study had a grain size (spatial resolution) of 1,000 m and a spatial extent (total size of the study area) of 78.5 million ha. The use of large grid cells leads to coarser grained observations, not reduce the observed heterogeneity reported in the literature. Thus, differences between land degradation status are clearly defined by complexity, isolation, and fragmentation.

Keywords: ***Disturbance; regional-scale; land cover status; fragmentation; rangelands; NOAA/AVHRR LAC.***

1. INTRODUCTION

The process by which landscape units become spatially divided, usually into smaller units, is known as "ecosystem fragmentation". Though this process is usually induced by human activity, a number of natural phenomena such as dought, wildfire, etc. participate in ecosystem fragmentation (Pickett & White, 1985; Schimel et al., 1997).

Desertification process is the major disturbance in the arid and semiarid regions of Patagonia (del Valle et al., 1997 and 1998). In these studies, the aridity of climate or its aridization is perceived as the major factor (precondition) of desertification, according to Kust (1992). Land degradation is both a form of ecosystem self-regulation and a cause of ecosystem fragmentation. The ecological equilibrium of Patagonia is highly susceptible to man's impact and the present methods of natural rangeland management, based on an extreme overuse in space and time. Overgrazing and woodcutting result in a gradual degradation of vegetation, which causes a reduction of the total cover and of the number of plants, the disappearance of valuable fodder species, the invasion of undesirable species, and finally the decrease of available forage. The effects of overuse of this resource are also evident in soil erosion. The consequences of the anthropogenic impact are also aggravated by drought phases.

The objective of this study was to quantify land degradation structure (fragmentation/patchiness) in the arid and semiarid regions of Patagonia (Argentina). The landscape structure as results of land degradation, in terms of patchiness or connectivity are hypothesized to take place changes in the status of soil, vegetation, water resources and land surface.

Land degradation status were distinguished by spatial relationships among component parts. A landscape can be characterized by both its composition and configuration (Dunning et al., 1992; Turner, 1989), and these aspects of a landscape can independently or in combination affect ecological processes and organisms. In this study, land degradation composition refers to features associated with the presence and amount of each patch type (land status), but without being spatially explicit. While, land degradation configuration refers to the physical distribution or spatial character of patches (land status).

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Study Region

The vast territory in southern Argentina known as Patagonia **(Figure 1)** extends from about 37° to 55° S, or south of the Colorado River. This region includes the Provinces of Neuquén, Río Negro, Chubut, Santa Cruz and Tierra del Fuego. It covers an area of about 780,000 km², which represents 28% of all continental Argentina. The humid Andean region is not considered in this study, except in small portions within the Tierra del Fuego archipelago. Along the gradient of decreasing precipitation, starting from the subantarctic forest border, grass steppes give way to shrub-grass steppes and those to deserts. The region studied

Figure 1. Study region.

exhibits quite a rich spectrum of vegetation types, from real desert to shrub or grass steppe.

The initial colonization of the Patagonian region, between 1880 and 1920, was impelled for extensive sheep farming. Since then, this region has been subjected to intense grazing by sheep and woodcutting. The 10,000 ranchers practice continuous grazing with very high grazing pressure, from 20 to 60 sheep per km^2 (Soriano, 1983). Sheep population showed a severe decrease in the last four decades (Soriano & Movia, 1986; Paruelo & Sala, 1992; Sancholuz & Chaia, 1993).

Vegetation degradation is the main problem for the region as a whole. Wind and water erosion or both combined, occur everywhere to a greater or lesser extent. Salinization and alkalinization are associated to both nonirrigated and irrigated lands. Soil crusting and compaction (pan formation and surface soil sealing) are also an important problem of rangeland ecosystem degradation. Man's impact has become evident also by the oil exploration, mineral extraction, and construction operations (road building, reclamation constructions).

2.2. Desertification Status

The methodological procedure to obtain and evaluate information on land degradation status - aided with digital processing methods - followed the guidelines set forth in del Valle et al., 1997 and 1998. Status can be considered the state or condition of an indicator (FAO/UNEP, 1984). Therefore, the status of desertification is evaluated without knowing with certainty the period during which the process has taken place, but the initial status of the land is known or deduced. Five status of desertification were adequate to show intensity: slight, moderate, moderate to severe, severe (high) and very severe (very high).

2.3. Methods

2.3.1. Remote sensing data base

Digital cartography representations of desertification status were utilized (del Valle et al., 1998). Therefore, a document which ranks (classifies), delimits (digital geographical location) and defines orders of magnitude (surface) of environmental damage, was available.

2.3.2. Landscape pattern analysis

The analyses were based on the **Figure 2,** for each status of desertification (patch type) and per Provinces. Analyses of landscape pattern are dependent upon the spatial scale of the data, which encompasses both grain and extent (Turner et al., 1989). The data used in this study had a grain size (spatial resolution) of 1,000 m (NOAA/AVHRR LAC) and a spatial extent (total size of the study area) of 78.5 million ha.

Landscape pattern analysis of the region was performed with the FRAGSTATS program (McGarigal & Marks, 1994). This software computes several simple statistics representing area at the patch, class, and land degradation levels **(Table 1).**

This section provides a general overview and discussion of some metrics computed in FRAGSTATS and utilized in this study (McGarigal & Marks, 1994).

2.3.3. Area metrics

Class area (CA) is a measure of land degradation composition; specifically, how much of the landscape is comprised of a particular patch type. At the class level (%LAND) represent the percent of land degradation status occupied by each patch type. At the class and land degradation levels, (LPI), quantifies the percentage of total land degradation area comprised by the largest patch.

2.3.4. Patch size and variability metrics

The patch size and variability metrics are best considered as representing land degradation configuration, even though they are not spatially explicit measures. Habitat subdivision, as indexed by the number of patches (NP), is utilized as an index of spatial heterogeneity of the entire land degradation mosaic. Similarly, the mean patch size (MPS) also can serve as a habitat fragmentation index. Patch size standard deviation (PSSD) is a measure of absolute variation; it is a function of the mean patch size and the difference in patch size among patches.

2.3.5. Shape metrics

Shape index (LSI) measures the perimeter-to-area ratio for the land status as a whole. LSI is not useful as measure of patch morphology, but it is best considered as measure of overall shape complexity. Mean shape index (MSI) measures the average patch shape, or the average perimeter-to-area ratio, for a particular patch type (class) or for all patches in the land status. The other basic type of shape index is the fractal dimension expressed as double log (DLFD).

2.3.6. Core area metrics

Core area metrics is defined as the area within a patch beyond some specified edge distance or buffer width. Core area metrics reflects both land status composition and land status configuration. Like patch shape, the primary significance of core area in determining the nature of patches in a land status

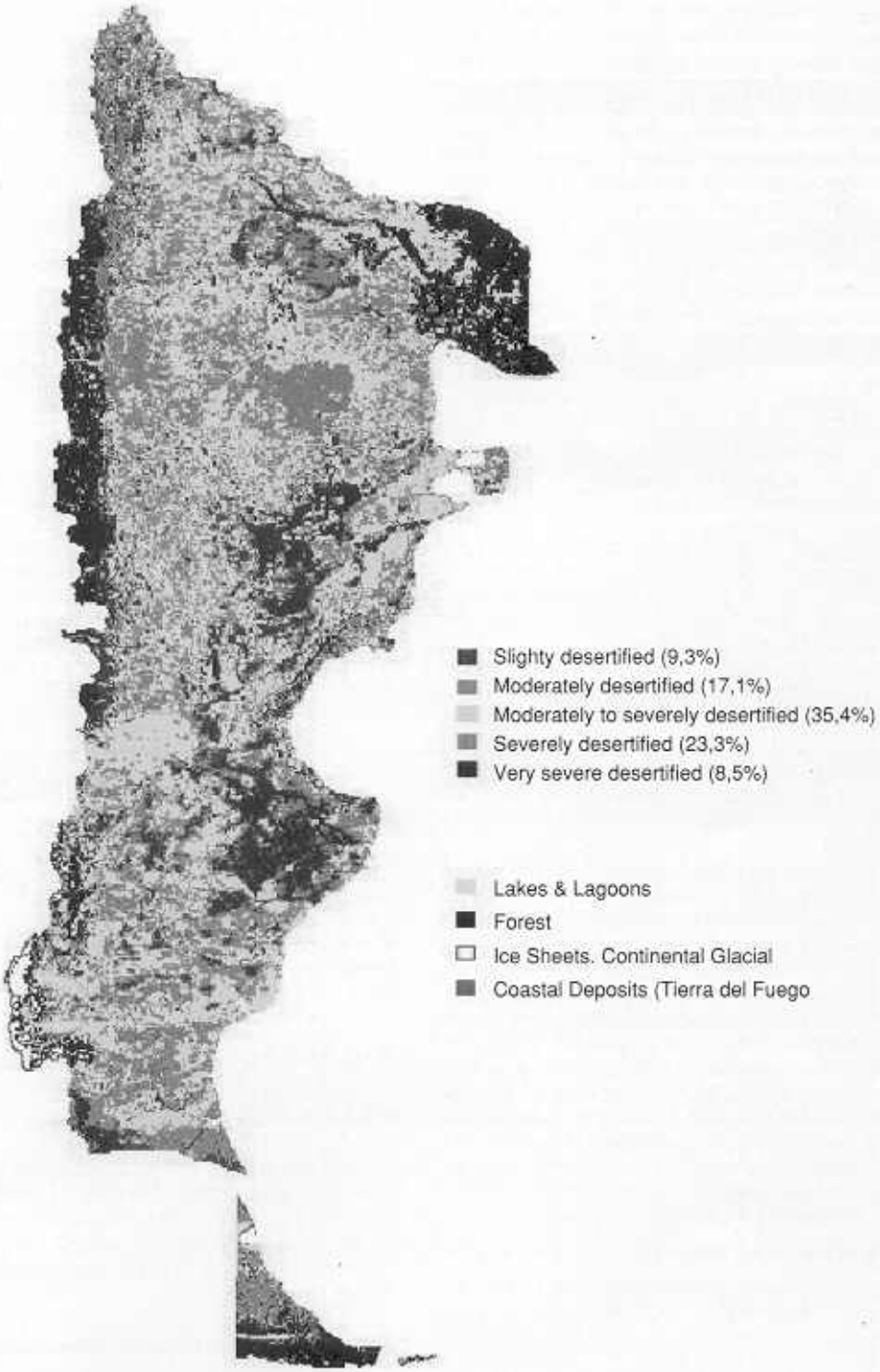


Figure 2. Desertification status in the Patagonian region (del Valle et al., 1998).

SCALE	ACRONYM	METRIC (UNITS)
Area metrics		
Class	CA	Class area (ha)
Class	%LAND	Patch type. Percent of land degradation status
Class/land degradation status	LPI	Largest patch index (%)
Patch size and variability metrics		
Class/land degradation status	NP	Number of patches
Class/land degradation status	MPS	Mean patch size (ha)
Class/land degradation status	PSSD	Patch size standard deviation (± ha)
Class/land degradation status	PSCV	Patch size coefficient of variation (%) *
Shape metrics		
Class/land degradation status	LSI	Land degradation status shape index
Class/land degradation status	MSI	Mean shape index
Class/land degradation status	DLFD	Double log fractal dimension
Core area metrics		
Class	C%LAND	Core area percent of land degradation status
Class/land degradation status	TCA	Total core area (ha)
Class/land degradation status	NCA	Number of core areas
Class/land degradation status	MCA	Mean core area per patch (ha)
Class/land degradation status	CASD	Patch core area standard deviation (± ha)
Class/land degradation status	CACV	Patch core area coefficient of variation (%) *
Class/land degradation status	TCAI	Total core area index (%)
Class/land degradation status	MCAI	Mean core area index (%)
Nearest-neighbor metrics		
Class/land degradation status	MNN	Mean nearest-neighbor distance (m)
Class/land degradation status	NNSD	Nearest-neighbor standard deviation (± m)
Class/land degradation status	NNCV	Nearest-neighbor coefficient of variation (%)
Contagion and interspersion metrics		
Class/land degradation status	IJI	Interspersion and Juxtaposition index (%)

Table 1. Metrics computed in FRAGSTATS, grouped by subject area. See McGarigal & Marks (1994) for a mathematical definition of each metric. (* PSCV and CACV were modified).

appears to be related to the "edge effect". For this reason, these metrics at the class level are useful in the study of habitat fragmentation, because fragmentation affects both habitat area and configuration. Patch area, class area, total land degradation area, and the percent of land degradation in each patch type all have counterparts computed after eliminating edge area defined by the specified edge width; these are total core area (TCA) at the class and land degradation levels, and core area percent of land degradation (C%LAND) at the class level. The total core area index (TCAI) at the class and land degradation levels quantifies core area for the entire class or land degradation as a percentage of total class or land degradation area, respectively. At the class and land degradation levels, FRAGSTATS also computes the mean core area index (MCAI) of patches comprising the class or land degradation.

2.3.7. Nearest-neighbor metrics

The proximity index quantifies the spatial context of a habitat patch in relation to its neighbors; specifically, the index distinguishes sparse distributions of small habitat patches from configurations where the habitat forms a complex cluster of larger patches. Variability in nearest-neighbor distance measures a key aspect of land degradation heterogeneity.

2.3.8. Interspersion and juxtaposition metrics

The interspersion and juxtaposition index (IJI) measures the extent to which patch types are interspersed (not necessarily dispersed); higher values result from land degradation in which the patch types are well interspersed (i.e., equally adjacent to each other), whereas lower values characterize land degradation in which the patch types are poorly interspersed (i.e., disproportionate distribution of patch type adjacencies).

3. RESULTS

3.1. Land degradation structure

The results were compiled as a series of Tables for each status of desertification **(Tables 2 and 3).** Statistics per each status on the Provinces were derived from the data. Values of the indices cover a sufficient range to discriminate among different land degradation status (patch type).

3.1.1. Area, patch size, variability and shape metrics

Table 2 shows the percent of land degradation (%LAND) occupied by each patch type. The Provinces that exhibited the highest value in the slight categories of desertification were Río Negro with 16.6% and Tierra del Fuego with 32.4%. The other Provinces showed reduced percentages in this status: Neuquén (5.9), Chubut (6.6)

and Santa Cruz (5.0). Moderate status presented "homogeneity" in the Provinces ordered from the North to the Central Zone (Neuquén, Río Negro and Chubut), with percentages of 17.0, 18.4 and 17.6, respectively. The exceptions to this last category were Santa Cruz (14.4%) and Tierra del Fuego (33.3%). Moderate to severe status, tendency aimed toward worsening condition (losses of rangelands and their conversion into wasteland, badlands or desert). This status just gave an idea of the magnitude of the probable loss in the Provinces, with percentages of 39.4 (Chubut), 36.1 (Río Negro), 34.9 (Santa Cruz), 32.0 (Neuquén) and 6.8 (Tierra del Fuego). Severe status showed the following percentages in decreasing order per Provinces: 30.5 (Neuquén), 26.2 (Santa Cruz), 22.9 (Río Negro) and 19.4 (Chubut). Very severe status showed different distribution per Provinces.

The largest patch index (LPI) is equivalent to %LAND.

The five-land degradation status varies considerably in number of patches (NP) and mean patch size (MPS). Patch size standard deviation (PSSD) measures absolute variation in patch size and is affected by the average size. However, the greater patch size coefficient of variation (PSCV) indicate a much large relative variation in patch size in: Río Negro (slight and moderate), Chubut (moderate to severe), Río Negro and Neuquén (severe), Chubut and Santa Cruz (very severe).

Table 2 shows the values in shape index (LSI). In particular, moderate, moderate to severe and severe patches have a much more complex shape than either patch slight or very severe. The mean shape index (MSI) values for all five patch types are greater than 1, indicating that the average patch shape is noncircular. The fractal dimension (DLFD) has a potential range of 1.3 to about 1.6. The upper value of 1.6-1.5 corresponds to shapes drawn by random Brownian movement with zero autocorrelation (Burrough, 1983). The high values (1.4) are associated with areas where topography or the coastline force lands use patches into complex shapes (O'Neill et al., 1988). The smallest values of 1.3 are associated with rectangular shapes dominant.

3.1.2. Core area, nearest-neighbor, contagion and interspersion metrics

Table 3 depicts five sample patch types that vary in the amount and pattern of mixed, large rangeland habitat based on a 1,000 m edge width for all edge types. Core area percent of land degradation (C%LAND) approaches 0 when core area of the corresponding patch type be-

Land Degradation Status (Patch Type) per Province	CA	% LAND	LPI	NP	MPS	PSSD	PSCV	LSI	MSI	DLFD
Slight										
- Neuquén	565,100	5.9	1.2	588	958	5,889	25	10.6	1.4	1.6
- Río Negro	3,352,800	16.6	14.3	242	13,798	178,341	83	9.5	1.4	1.4
- Chubut	1,477,700	6.6	2.4	980	1,508	19,387	41	11.8	1.3	1.5
- Santa Cruz	1,225,400	5.0	0.8	931	1,316	8,308	21	12.0	1.3	1.5
- Tierra del Fuego	697,500	32.4	29.8	173	4,032	35,431	67	16.5	1.4	1.5
Moderate										
- Neuquén	1,630,300	17.0	5.1	835	1,951	20,499	36	22.1	1.3	1.5
- Río Negro	3,689,600	18.4	16.1	293	12,593	182,951	85	10.3	1.3	1.4
- Chubut	3,945,500	17.6	1.0	4,283	921	5,546	9	38.2	1.3	1.5
- Santa Cruz	3,521,600	14.4	4.4	1,588	2,218	29,092	33	22.4	1.3	1.5
- Tierra del Fuego	716,700	33.3	31.9	79	9,073	56,216	70	17.3	1.5	1.5
Moderate to Severe										
- Neuquén	3,062,700	32.0	12.4	1,015	3,017	42,782	45	34.3	1.4	1.5
- Río Negro	7,253,700	36.1	16.5	759	9,553	124,673	47	31.5	1.5	1.4
- Chubut	8,818,200	39.4	25.0	1,118	7,888	161,708	61	51.7	1.4	1.5
- Santa Cruz	8,499,700	34.9	10.3	1,001	8,491	107,131	40	35.7	1.4	1.4
- Tierra del Fuego	147,200	6.8	2.8	63	2,338	7,041	38	11.8	1.3	1.4
Severe										
- Neuquén	2,917,200	30.5	15.1	576	5,064	58,040	48	32.2	1.5	1.5
- Río Negro	4,596,900	22.9	11.8	1,437	3,199	62,321	51	26.4	1.3	1.4
- Chubut	4,336,300	19.4	1.6	1,526	2,842	16,847	15	29.4	1.4	1.4
- Santa Cruz	6,385,400	26.2	8.1	1,054	6,058	70,817	36	31.9	1.4	1.4
Very Severe										
- Neuquén	635,800	6.6	0.7	392	1,622	4,253	13	12.8	1.3	1.4
- Río Negro	576,000	2.9	0.3	393	1,464	5,207	18	6.5	1.3	1.4
- Chubut	2,518,900	11.3	6.3	518	4,863	58,980	53	13.1	1.3	1.3
- Santa Cruz	2,973,800	12.2	7.4	487	6,106	75,958	56	14.8	1.3	1.3

CA: Class area (ha). **%LAND:** Patch type. Percent of land degradation status. **LPI:** Largest patch index (%). **NP:** Number of patches. **MPS:** Mean patch size (ha). **PSSD:** Patch size standard deviation (± ha). **PSCV:** Patch size coefficient of variation (%). **LSI:** Land degradation status shape index. **MSI:** Mean shape index. **DLFD:** Double log fractal.

Table 2. Area, patch size, variability and shape metrics

comes increasingly rare in the land degradation, because of increasing smaller patches and/or more convoluted patch shapes. The values founded (1.0-27.2%) represent a gradient of complexity of patch shapes.

Total core area (TCA) approaches class area (CA) as the specified edge distance decreases and as patch shapes are simplified. The lower values of TCA indicate that land degradation has much less core area, suggesting a much more fragmented (greater edge-to-interior ratio) configuration of habitat. Values highest of number of core areas (NCA) are due to patch shape complexity (Chubut and Santa Cruz, principally). Mean core area per patch (MCA) approaches mean patch size (MPS) as the specified edge width decreases and as patch shapes are simplified. Patch core area coefficient of variation (CACV) measures relative variability and, in contrast to the standard deviation (CASD), indicates that core area variability increases progressively from the least to the most patchy land degradation. The total core area index (TCAI) represents the five-land degradation along a continuum from most to least patchy. TCAI approaches 100 when the patches of the corresponding patch type, because of size, shape, and edge width, contain mostly core area. The mean core area index (MCAI) indicates that the mixed, large rangeland habitat in all five-land degradation is highly fragmented. MCAI mimics the results of the total core area index, although the values are smaller because patches in each land degradation with 0 core area contribute equally to the mean and reduce the average value.

The highest values founded for mean nearest-neighbor distance (MNN) suggest that they are most isolated in the land degradation structure; in some cases the differences among land status per Provinces are relatively small. Nearest-neighbor standard deviation (NNSD) and nearest-neighbor coefficient of variation (NNCV) greatest, suggest that the dispersion is least regular.

Interspersion and juxtaposition index (IJI) represents the observed level of interspersion as a percentage of the máximum possible given the total number of patch types. IJI approaches 100 when the corresponding patch type is equally adjacent to all other patch types (i.e., maximally interspersed and juxtaposed to other patch types).

Land Degradation Status (Patch Type) per Province	C% LAND	TCA	NCA	MCA	CASD	CACV	TCAI	MCAI	MNN	NNSD	NNCV	IJI
Slight												
- Neuquén	1.0	91,900	170	156	1,598	79	16.3	1.2	2,240	3,502	156	48
- Río Negro	12.7	2,466,800	183	10,193	142,502	104	73.9	9.9	5,084	7,335	144	66
- Chubut	2.7	574,200	251	586	9,969	108	38.9	2.0	2,167	2,854	132	59
- Santa Cruz	1.8	407,600	301	438	4,124	54	33.3	2.7	2,877	3,581	125	69
- Tierra del Fuego	16.2	252,300	182	1,458	14,243	72	36.2	5.8	2,072	3,783	183	50
Moderate												
- Neuquén	6.6	577,600	362	692	9,341	71	35.5	2.6	1,858	1,745	94	84
- Río Negro	13.8	2,690,900	178	9,184	142,658	117	72.9	8.7	3,762	7,912	210	20
- Chubut	5.1	1,082,200	976	253	3,097	40	27.4	2.4	1,433	1,080	75	57
- Santa Cruz	7.3	1,640,300	584	1,033	17,825	72	46.6	3.4	1,941	2,594	134	59
- Tierra del Fuego	27.2	424,100	80	5,368	36,997	77	59.2	8.9	3,040	5,018	165	71
Moderate to Severe												
- Neuquén	14.1	1,244,500	606	1,226	21,579	72	40.6	2.9	1,403	898	64	66
- Río Negro	20.1	3,913,000	1,145	5,156	70,505	170	54.0	10.3	2,033	1,783	88	69
- Chubut	16.8	3,548,600	2,291	3,174	62,835	41	40.2	5.0	1,701	1,588	93	76
- Santa Cruz	21.0	4,745,900	1,225	4,741	67,910	41	55.8	8.1	2,031	1,868	92	76
- Tierra del Fuego	4.2	66,100	38	1,049	4,090	63	44.9	8.9	5,123	6,191	121	92
Severe												
- Neuquén	12.2	1,076,900	853	1,870	27,370	50	36.9	5.3	1,949	2,268	116	66
- Río Negro	11.2	2,181,900	668	1,518	36,766	94	47.5	4.1	1,820	2,138	118	59
- Chubut	8.3	1,740,000	1,017	1,140	9,132	25	40.1	7.4	2,031	2,615	129	68
- Santa Cruz	14.0	3,169,600	1,142	3,007	41,444	41	49.6	9.4	2,382	2,317	97	75
Very Severe												
- Neuquén	2.3	199,500	253	509	2,018	25	31.4	9.1	3,638	4,402	121	67
- Río Negro	1.0	193,600	150	493	2,660	44	33.6	5.0	5,333	7,019	132	42
- Chubut	7.6	1,600,900	293	3,091	46,324	88	63.6	12.2	4,227	5,879	139	68
- Santa Cruz	7.9	1,792,500	314	3,681	53,816	83	60.3	11.9	3,911	5,393	138	19

C%LAND: Core area percent of land degradation status. **TCA:** Total core area (ha). **NCA:** Number of core areas. **MCA:** Mean core area per patch (ha). **CASD:** Patch core area standard deviation (± ha). **CACV:** Patch core area coefficient of variation (%). **TCAI:** Total core area index (%). **MCAI:** Mean core area index (%). **MNNN:** Mean nearest-neighbor distance (m). **NNSD:** Nearest-neighbor standard deviation (± m). **NNCV:** Nearest-neighbor coefficient of variation (%). **IJI:** Interspersion and Juxtaposition index (%).

Table 3. Core area, nearest-neighbor, contagion and interspersion metrics

4. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The ability of the indices to discriminate among land degradation status can be judged by examining their provincial distribution. Both the complexity and contrast of land degradation status per provinces describe the degree of their heterogeneity. Patchiness of such land degradation status is very similar to complexes with respect to the pattern and probably genesis too, but differs in its milder contrast and lesser differentiation of its components.

The use of large grid cells leads to coarser grained observations, not reduce the observed heterogeneity reported by del Valle et al. (1997 and 1998); thus differences between land degradation status per Provinces are clearly defined by complexity, isolation, and fragmentation. However, Benson & Mackenzie (1995) report that several landscape parameters are sensitive to grain sizes, which increase from 20 to 1,100 m in remotely sensed data. Optimally, data in information systems should be used to support decisions at the level that the data were collected. In practice, however, data are frequently aggregated at much broader scales to accommodate regional analyses (Bettinger et al., 1996).

From the digital cartography standpoint a fragmentation in the continuity of landscapes - according to the Lord & Norton (1990) studies- was evidenced. Patagonian habitat fragmentation results from different anthropic activities that also lead to different desertification status. Both, human impact and natural disturbances periodically alter the structure and function of ecological systems.

Selective differentiation in grazing originates a particular sample of landscape ("environmental patches") where intensively grazed patches alternate with slightly grazed ones within a matrix where bare soil is generally a constant. The anthropic action leads to instability in the system and makes overgrazed patches to increase their size in adverse natural conditions. A landscape with different levels of fragmentation and desertification status results from this degradation process.

REFERENCES

BENSON, B.J. and MACKENZIE, M.D., 1995. **Effects of sensor spatial resolution on landscape structure parameters.** *Landscape Ecology, 10(2):113-120.*

BETTINGER, P., BRADSHAW, G.A. and WEAVER, G.W., 1996. **Effects of geographic information system vector-raster-vector data conversion on landscape indices.** *Canadian Journal Forest Research, 26: 1416-1425.*

BURROUGH, P.A., 1983. **Multiscale sources of spatial variation in soil. The application of fractal concepts to nested levels of soil variation.** *Journal Soil Science, 34:577-597.*

DEL VALLE, H.F., ELISSALDE, N.O., GAGLIARDINI, D.A. and MILOVICH, J., 1997. **Desertification Assessment and Mapping in the Patagonian Arid and Semiarid Region (Argentina).** *Control Desertification Bulletin, 31:6-11.*

DEL VALLE, H.F., ELISSALDE, N.O., GAGLIARDINI, D.A. and MILOVICH, J., 1998. **Status of desertification in the Patagonian region: Assessment and mapping from satellite imagery.** *Arid Soil Research and Rehabilitation Journal, 12(2):1-27.*

DUNNING J.B., DANIELSON, B.J. and PULLIAM, H.R., 1992. **Ecological processes that affect populations in complex landscapes.** *Oikos 65:169-175.*

FAO/UNEP, 1984. **Metodología provisional para la evaluación y la representación cartográfica de la desertización.** *FAO/UNEP, Roma, Italia.*

KUST, G.S., 1992. **Desertification assessment and mapping in the Pre-aral region.** *Desertification Control Bulletin. UNEP, Number 21:38-46.*

LORD, J.M. and NORTON, D.A., 1990. **Scale and the spatial concept of fragmentation.** *Conservation Biology 4:197-202.*

MACGARIGAL, K. and MARKS, B.J., 1994. **Spatial pattern analysis program for quantifying landscapes structure. Version 2.0.** *Forest Science Department, Oregon State University, Corvallis, OR 9733, USA.*

O'NEILL, R.V., KRUMMEL, J.R., GARDNER, R.H., SUGIHARA, G., JACKSON, B., DEANGELIS, D.L., MILNE, B.T., TURNER, M.G., ZYGMUNT, B., CHRISTENSEN, S.W., DALE, V.H. and GRAHAM, R.L., 1988. **Indices of landscape pattern.** *Landscape Ecology, 1:153-162.*

PARUELO, J.M. and SALA, O.E., 1992. **El impacto de la desertificación sobre la capacidad de carga de las estepas patagónicas: Sus consecuencias económicas.** *Actas de Resúmenes. II Congreso Latinoamericano de Ecología, Caxambú, Minas Gerais, Brasil.*

PICKETT, S.T.A. and WHITE, P.S., 1995. **The ecology of natural disturbance and path dynamics.** *San Diego. Academic Press, Inc.*

SANCHOLUZ, L. and CHAIA, D.E., 1993. **Evolución de la carga ganadera en las provincias patagónicas y su relación con la desertificación.** *Gaceta Agronómica 13(75):242-250.*

SCHIMEL, D.S., VEMAP PARTICIPANTS and BRASWELL, B.H., 1997. **Continental scale variability in ecosystem processes: Models, data, and the role of disturbance.** *Ecological Monographs, 67(2):251-271.*

SORIANO, A. 1983. **Deserts and semi-deserts of Patagonia,** *pp. 423-460, in N.E. West, ed., Temperate deserts and semi-deserts. Elsevier Scientific, Amsterdam, The Netherlands.*

SORIANO, A., and MOVIA, C.P., 1986. **Erosión y desertización en la Patagonia.** *Interciencia II:77-83.*

TURNER, M.G., 1989. **Landscape ecology: the effect of pattern on process.** *Ann. Rev. Ecol. Syst., 20:171-197.*

TURNER, M.G., GARDNER, R.H., DALE, V.H. and O'NEILL, R.V., 1989. **Predicting the spread of disturbance in heterogeneous landscapes.** *Oikos, 55:121-129.*

ANÁLISE DA IMAGEM JERS-1 PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA AÉREA DE FLORESTAS TROPICAIS NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA.

João Roberto dos Santos [1], Maria Silvia Pardi Lacruz [1], Manfred Keil [2]
Hermann Johann Heinrich Kux [1], Maristela Ramalho Xaud [1]

[1] *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Av. dos Astronautas 1758*
12227-010 São José dos Campos, SP - Brasil. {jroberto, lacruz}@itid.inpe.br

[2] *German Aerospace Research Establishment/ German Remote Sensing Data Center (DLR/DFD),*
Oberpfaffenhofen, D-82230 Wessling, Germany. Manfred.Keil@dlr.de

Abstract

The objective is to analyze the behavior of JERS-1 (Japanese satellite) backscatter signals to characterize the vegetation cover and its relation with aerial biomass data of primary forest and secondary successions. In support to this analysis, spectral data from optical TM-Landsat bands have also been used in combination with JERS-1 data, to establish a regression model that best fits to the field information and sensor data. JERS-1 and TM data were processed using ENVI and SPRING softwares. During data collection in the field, dendrometric parameters were measured to estimate the biomass of vegetation types, using allometric equations. Diagrams are presented showing the spectral attributes occupied at optical images and SAR (σ^o values) for each facies of the vegetation under study, as well as the parameters and values derived from multiple regression, which show combined information of these two sensors referring to biomass estimate.

Keywords: Biomass, tropical rain forest, secondary forest, JERS-1, Amazonia.

Resumo

O objetivo deste trabalho é analisar o comportamento dos sinais de retroespalhamento obtido de imagem JERS-1 para caracterizar a cobertura vegetal e verificar também a sua relação com a biomassa aérea de florestas primária e secundária. Dados TM/Landsat são empregados como fonte complementar de informações, em conjunto com dados de microondas para estabelecer, através de modelos de regressão, o grau de relacionamento das variáveis de campo e aquelas sensoriadas. As imagens JERS-1 e TM/LANDSAT foram tratadas e compatibilizadas nos sistemas computacionais do ENVI e SPRING. Durante a fase de campo foram levantados em inventário os parâmetros dendrométricos para, através de equações alométricas, estimar a biomassa florestal. São apresentados diagramas ilustrando o espaço de atributos espectrais dos alvos na imagem TM/Landsat e de retroespalhamento (σ^o) para cada fácie da vegetação estudada, bem como os valores e parâmetros derivados da regressão múltipla, empregada na integração de informações dos dois sensores na relação com os dados de biomassa.

Palavras chaves: ***Biomassa, floresta tropical úmida, sucessão secundária, JERS-1, Amazônia.***

1. INTRODUÇÃO

A taxa anual de desflorestamento no estado de Acre (SW Amazônia) foi estimada em 433 Km²/ano (INPE e IBAMA, 1998), onde processos não controlados de ocupação da terra têm sido determinados por inadequadas políticas relacionadas com o próprio desenvolvimento desta região. Muitas pesquisas têm sido realizadas utilizando imagens ópticas (TM/Landsat) e imagens microondas (SIR-C, ERS-1, RADARSAT), as quais têm permitido avaliar o desempenho destes sensores no monitoramento ambiental desta região (Kux et al., 1995; Keil et al., 1996; Scales et al., 1997; Santos et al., 1998a).

A análise da dinâmica de ocupação da terra desta porção da Amazônia, associada com as transformações sinópticas de biomassa da cobertura vegetal, tem papel importante na discussão dos modelos referentes aos estudos de mudanças globais. Dentro deste contexto, o principal objetivo deste estudo é avaliar o comportamento e a relação entre o retroespalhamento do JERS-1 e os valores de biomassa das áreas de floresta primária aberta e de sucessão secundária em diferentes estágios de desenvolvimento. Posteriormente se discute a caracterização estrutural da cobertura vegetal e a respectiva biomassa, levando em consideração as mudanças antrópicas da paisagem nesta parte da região sudoeste da Amazônia.

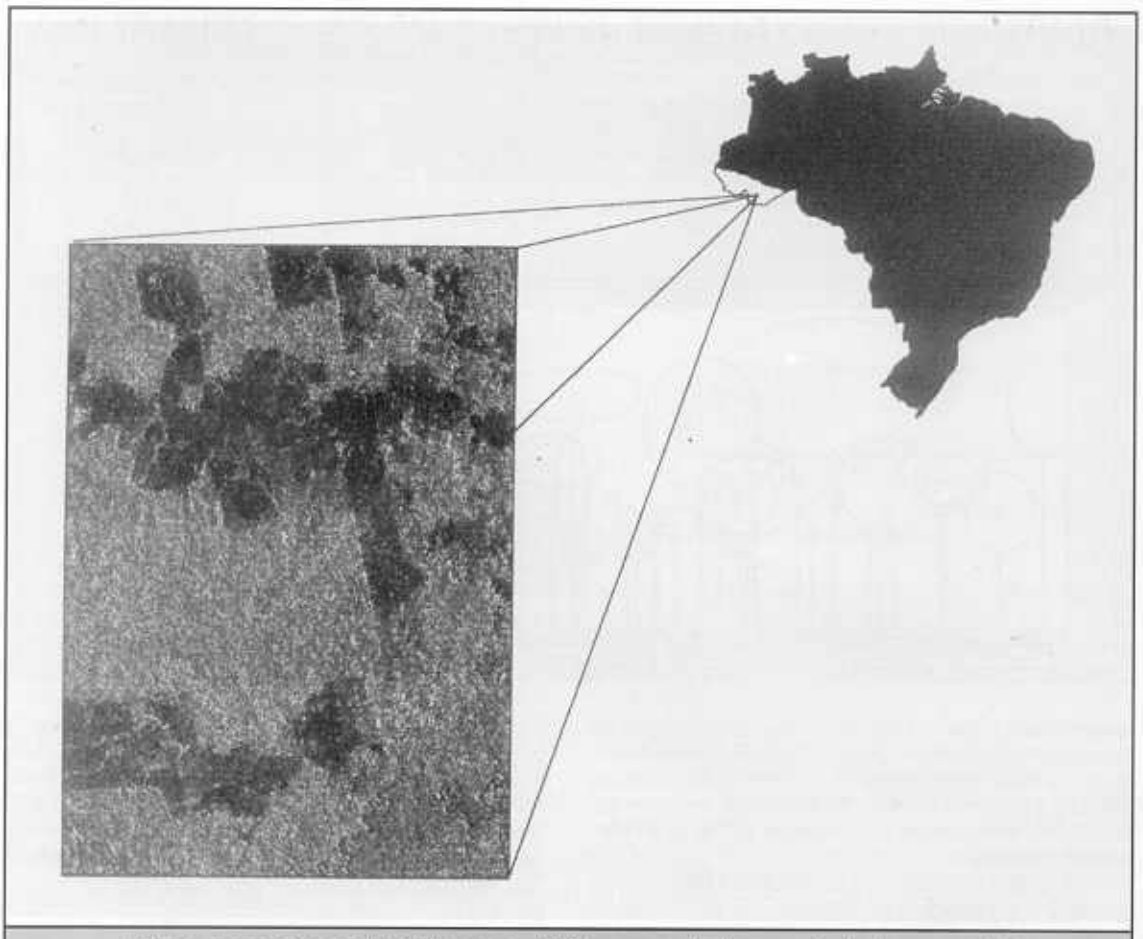


Figura 1. Composição colorida TM/Landsat e JERS-1 correspondente a um setor da área em estudo.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada entre as coordenadas S 9° 35' - S 10° 20' e W 67° 40'- W 68° 15', a qual compreende um setor ao longo da estrada Xapuri - Rio Branco - Sena Madureira e Rio Branco - Projeto de Colonização Humaitá, no estado de Acre, Brasil **(Figura 1).** Largas áreas de floresta têm sido derrubadas para implantação de pastagens, razão da baixa capacidade da terra na sustentabilidade do pastoreio. Assim, é comum na região o processo de derrubada e queima das áreas de floresta ombrófila tropical e, em menor proporção, nas áreas de florestas primárias com bambu de menor rendimento agropecuário. Uma importante atividade no Acre, além do crescente interesse madeireiro é a de exploração florestal para extração de látex da **Hevea brasiliensis** e a extração da castanha do Pará. Uma descrição sobre a geologia, geomorfologia, condições edáficas e climatológicas podem ser encontradas em BRASIL (1990).

3. MATERIAIS E MÉTODO

Para a elaboração do presente trabalho se utilizou uma imagem JERS-1 identificada com a órbita/ponto 426/317 de 7 de junho de 1996, obtida através do projeto **Global Rain Forest Monitoring Project (GRFM),** no acordo de cooperação NASDA/INPE. Adicionalmente se usou uma imagem TM/Landsat em formato digital das bandas 3, 4 e 5, órbita/ponto 002/67 de 14 de junho de 1996. O processamento dos dados foi realizado no **software** ENVI, versão 2.6.

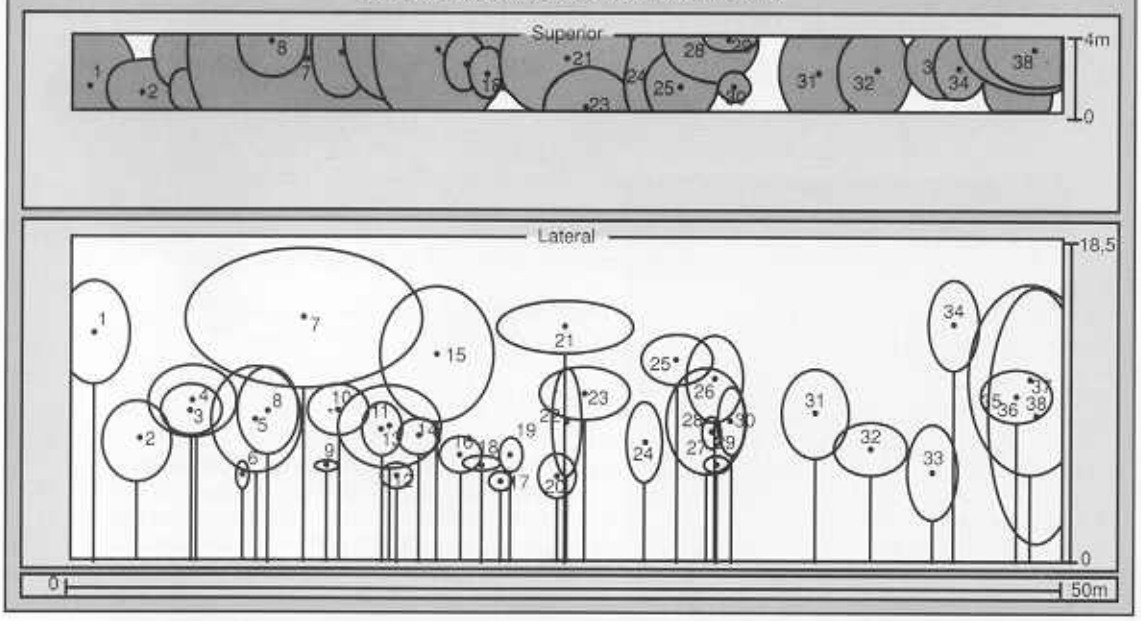
A imagem TM/Landsat foi registrada com a cena JERS-1 e sobre a primeira foram delineadas as áreas amostradas durante o trabalho de campo. A imagem JERS-1 em amplitude foi transformada para intensidade e sobre esta imagem foram extraídos os valores de σ° (dB) das áreas previamente definidas, em acordo com Rosenqvist (1997):

$$\sigma^{\circ} = 10 \log 10 \, [(\sum DN^2) / n] + CF$$

onde DN = número digital do pixel de uma imagem (16 bits), n = número de pixels da área amostrada e CF = fator de calibração (- 68,5 dB).

Um extensivo trabalho de campo, realizado no período de passagem dos satélites, foi executado visando realizar um reconhecimento da área para dar suporte ao tipo de análise pretendida e ainda realizar o inventário de 16 parcelas amostrais com o intuito de conhecer as características estruturais de indivíduos (diâmetro a altura do peito - DAP, altura total, percentagem de cobertura da copa, assim como a identificação botânica) em áreas de floresta primária com e sem a presença de **Guadua**

Figura 2. Exemplo de perfil fisionômico-estrutural em área de Sucessão Secundária Intermediária.



weberbaueri Pilger e áreas com diferentes estágios de sucessão secundária. No inventário foram considerados todos os indivíduos com DAP > 10 cm para a floresta primária e DAP > 5 cm para as sucessões secundárias, perfazendo um área total amostrada de 10.000 m² e 2.600 m², respectivamente.

Os dados de DAP e altura obtidos em campo permitiram a estimativa da biomassa aérea, modelada através de diferentes equações alométricas, específicas para floresta primária, vegetação secundária e indivíduos do gênero **Bambusa,** especificadas a seguir:

$$Y = 0{,}044 * (DAP^2 * ALTURA)^{0,8710}$$

(Brown et al., 1989)

$$\ln Y = -2{,}17 + 1{,}02 \ln (DAP)^2 + 0{,}39 \ln ALTURA$$

(Uhl et al., 1988)

$$Y = 2{,}928\ DAP^3 - 37{,}554\ DAP^2 + 161{,}23\ DAP - 226{,}54$$

(Torezan e Silveira, 1996)

Com a finalidade de entender melhor a relação entre os valores de biomassa e de retroespalhamento do JERS-1, foram elaborados diagramas de dispersão. Adicionalmente foram realizados perfis da cobertura vegetal que permitiram analisar a influência dos parâmetros biofísicos no comportamento dos dados ópticos e de radar **(Figura 2).** Testes estatísticos utilizando modelo de regressão múltipla foram elaborados para conhecer a relação entre a biomassa e a integração dos dados orbitais (TM e JERS-1).

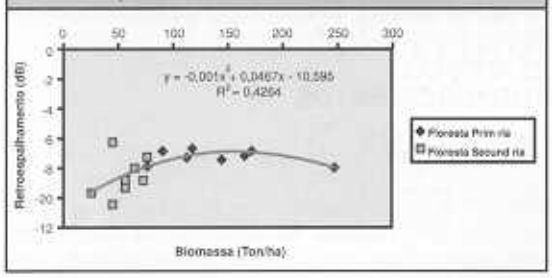
4. RESULTADOS

Em uma análise sinóptica da dinâmica da paisagem na área de estudo com ambos os sensores, principalmente com suporte do controle de campo, foram identificadas as áreas de floresta primária com ou sem bambu, sucessão secundária (fase inicial, intermediária e avançada) e também as áreas de pasto limpo e sujo, queimadas e solo exposto. Como a proposição deste trabalho é analisar somente as áreas de cobertura vegetal natural, pode-se observar que o espaço de atributos espaciais, traduzido pelos valores de **backscatter** (σ^0) e mostrado na **Figura 3,** não permite uma distinção entre as áreas de floresta primária com ou sem bambu.

Aquelas áreas de floresta primária com **Guadua weberbaueri** Pilger, tem relativamente uma baixa biomassa (valor médio = 93,61 ton/ha ± 18,32), a qual pode ser explicada pela alta densidade desta espécie, com elevada competitividade pela ocupação do espaço frente às espécies lenhosas comumente encontradas nas florestas primárias, cujo valor de biomassa está em torno de 170,25 ton/ha ± 49,28 (Santos et al., 1998a). As áreas de floresta primária geralmente apresentam elevados valores das proporções "vegetação" e "sombra" na composição do pixel observado pelos sensores, que tem determinada uma caracterização bem definida na faixa de – -7 a -6 dB. No caso das áreas de sucessão secundária inicial (35,66 ton/ha ± 13,48) estes valores de **backscatter** oscilam de -10,4 a -9,61 dB, num espaço de atributos bem diferenciado se comparado àquele da floresta primária, por possuir também a influência da componente "solo" na resposta espectro-textural. Estes valores estão bem próximos aqueles de Luckman et al., (1998) para áreas de regeneração inicial na região do Tapajós (Estado Pará), com -10,7 a -9,5 dB relacionados aos limites inferior e superior. Uma discussão acerca das proporções destas componentes vegetação, sombra e solo, como resultantes da aplicação do modelo linear de mistura espectral em imagens TM/Landsat para regiões de floresta tropical, pode ser observado em Bernardes (1996) e Santos et al. (1998b).

No intervalo de **backscatter** entre as duas classes anteriormente citadas fica definido o espaço ocupado pela sucessão secundária em fase intermediária (5 < idade > 10 anos) e em fase avançada (~15 anos),

Figura 3. Diagrama de valores de **backscatter** *do JERS-1 e valores de biomassa das áreas de floresta primária e de sucessão secundária.*



consideradas neste trabalho. Estas duas fases da sucessão secundária (56,33 a 69,49 ton/ha) apresentam significativa amplitude no valores de dB, cuja variação não pode ser facilmente ajustada em um modelo teórico. Uma explanação para estas respostas pode está relacionado com o tipo de manejo (compactação do solo, tipo de uso do solo, condições de produtividade e ciclo de exploração, freqüência das queimas) que tem ocasionado variações marcantes nas características estruturais e de composição florística destas fácies secundárias. O comportamento destas áreas de sucessão secundária, cujo dossel é formado por indivíduos com altura média de 11,55 m, oscila entre -8,31 e -7,8 dB, faixa de retroespalhamento esta similar registrada por Hashimoto et al., (1996) em áreas de regeneração no Estado de Rondônia e pesquisadas por Santos et al., (1998b) nas áreas de transição entre floresta e savana no Estado de Roraima.

A partir da utilização de um modelo de regressão **(Figura 3)**, com uma função polinomial (r^2 = 0,4264), pode-se perceber que este modelo tem uma maior sensibilidade para explicar a relação dos valores de **backscatter** do JERS-1 com aqueles de biomassa até um máximo de 90 ton/ha. O exame desta distribuição ajustada pode sugerir que um patamar desta representação assintótica está ao redor de -7,8 dB, cujo valor é também registrado por Luckman et al. (1998).

Considerando a aplicabilidade de dados ópticos como suporte à identificação de várias classes temáticas, procurou-se também verificar a capacidade de relacionamento da resposta espectral das bandas TM/Landsat com os valores de biomassa. Para tanto, tais valores espectrais foram acrescidos dos valores de ***backscatter*** do JERS-1 através de um modelo de regressão múltipla, assim definido:

$$y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4$$

onde:

x_1 = valores de **backscatter** JERS-1 de cada área amostrada;

x_2, x_3, x_4 = valor médio do número digital das bandas TM3, TM4 e TM5 respectivamente;

a, b = coeficientes da regressão.

A **Tabela 1** mostra os parâmetros do modelo ajustado com o **backscatter** do JERS-1 e a resposta espectral do TM/Landsat (bandas 3, 4 e 5), indicando no teste F que os coeficientes b_1, b_2, b_3 e b_4 não apresentaram significância para comporem a equação de regressão, mesmo com a obtenção de um coeficiente de correlação igual a 0,8816 considerado satisfatório nesta relação da biomassa com as respostas integradas de ambos os sensores.

Em uma análise da conjunção dos valores de ***backscatter*** do JERS-1 com somente duas bandas TM/Landsat no modelo de regressão, pode-se constatar que as bandas TM3 e TM5 são as mais adequadas para modelar a estimativa de biomassa de florestas primária e secundária a partir destes dados orbitais. Todos os coeficiente de regressão foram considerados significativos para comporem o modelo ajustado, onde 77% das variações encontradas na variável dependente (biomassa) podem ser explicadas pelas variáveis independentes (resposta espectral do JERS-1, TM3 e TM5) no referido modelo.

Parâmetros da regressão	$y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4$	$y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3$
x_1	JERS-1	JERS-1
x_2	TM3	TM3
x_3	TM4	TM5
x_4	TM5	
a	444,090401 (t = 6,79612992**)	444,518829 (t = 7,01128034**)
b_1	27,53150901 (t = 2,08276902)	28,642994 (t = 2,26008706*)
b_2	18,63695549 (t = 2,10507425)	19,2902927 (t = 2,26630727*)
b_3	- 1,442287911 (t = - 0,54609655)	- 8,15520774 (t = - 4,9106559**)
b_4	- 6,241014775 (t = - 1,59994924)	
r	0,881646412	0,87821568
F	9,59847276**	13,48731561**
Sxy	32,63778458	31,669054

Tabela 1. Estatística e valores derivados do modelo de regressão múltipla aplicado às imagens JERS-1 e TM/Landsat (bandas 3, 4 e 5).

CONCLUSÕES

É evidente que as imagens JERS-1 permitem discriminar com segurança áreas de floresta primária (alta rugosidade do estrato superior, biomassa elevada e vários estratos) daquelas em processo de derrubada e queima. São visíveis nas imagens as áreas de pasto limpo ou de pasto sujo. Áreas de sucessão secundária inicial são facilmente identificadas nas imagens em razão da baixa rugosidade do dossel formado por um estrato único, pouca variação na diversidade florística e homogênea distribuição de biomassa. A abordagem metodológica usada indica a utilidade da imagem JERS-1 complementada pela imagem TM/Landsat para caracterizar floresta primária e sucessões secundárias e seus valores de biomassa. Durante o trabalho de campo foi possível conhecer as características estruturais de cada tipologia vegetal o que permitiu compreender melhor o comportamento dos sinais do radar. Este estudo valida o interesse da comunidade técnico-científica em utilizar as imagens JERS-1 como complemento do sensoriamento remoto óptico para monitorar a dinâmica de ocupação da Amazônia, propiciando inclusive uma metodologia local e regional para a medição das áreas de regeneração natural, que têm um impacto significante na fixação de carbono.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho de pesquisa foi realizado dentro da cooperação INPE/Agência Espacial Alemã (DLR) no projeto "Multisensoral Remote Sensing Studies for Rainforest and Landuse Monitoring" e na cooperação INPE/Agência Espacial Canadense (CIDA) no projeto "Applications Development Research Opportunity - ADRO". Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (processos número 300677/91-0 e 381246/97-3) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (processo número 97/05475-2) e o apoio logístico do Parque Zoobotânico da Universidade Federal do Acre – UFAC.

REFERÊNCIAS

BERNARDES, S. (1996). **Índices de vegetação e valores de proporção na caracterização de floresta tropical primária e estádios sucessionais na área de influência da Floresta Nacional do Tapajós - Estado do Pará.** *(Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 94 p.*

BRASIL. (1990). **Projeto de proteção ao meio ambiente e das comunidades indígenas: diagnóstico geoambiental e sócio-econômico. Área de influência da BR-364 trecho Porto Velho-Rio Branco.** *Secretaria de Planejamento e Coordenação da Presidência da República, IBGE/IPES, Rio de Janeiro.*

BROWN, S.; GILLESPIE, A.J.R; LUGO, E. (1989). **Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data.** *Forest Sciences, 35(4): 861-902.*

HASHIMOTO, Y.; TSUCHIYA, K.; IIJIMA, T. (1996). **Normalized backscattering radar cross section of tropical rain forest in Rondonia, Northern Brazil.** *Advances in Space Research (31 st. COSPAR'96). 4p.*

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE)/INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). 1998. **Deforestation 1995 - 1997: Amazônia.** *São José dos Campos. <http://www.inpe.br/amz.htm>*

KEIL, M.; SCALES, D.; WINTER, R.; KUX, H.J.H.; SANTOS, J.R. (1996). **Tropical rainforest investigation in Brazil using multitemporal ERS-1 SAR data.** *In: Second ERS-1 Application Workshop, London, UK., Dec. 6-8, 1995. Proceedings. (ESA SP-383, Feb., 1996). pp. 241-248.*

KUX, H.J.H.; AHERN, F.J.; PIETSCH, R.W. (1995). **Evaluation of radar remote sensing for natural resource management in the tropical rainforest of Acre State, Brazil.** *Canadian Journal of Remote Sensing, 21: 430-440.*

LUCKMAN, A.; BAKER, J.; HONZÁK M.; LUCAS, R. (1998). **Tropical forest biomass density estimation using JERS-1 SAR: seasonal variation, confidence limits, and application to image mosaics.** *Remote Sensing Environment, 63: 126-139.*

ROSENQVIST, A. (1997). **Analysis of the backscatter characteristics of rubber, oil palm and irrigated rice in multi-band polarimetric synthetic aperture radar imagery.** *Thesis, Institute of Industrial Science – University of Tokyo. 144p.*

SANTOS, J.R.; KUX, H.J.H., PARDI LACRUZ, M.S., AHERN, F.J.; PIETSCH, R.W. (1998a). **Dynamics of RADARSAT backscattering values related to primary and secondary forest biomass structure in SW Amazonia, Brazil.** *IN: International Symposium on Resource and Environmental Monitoring - ISPRS ECO BP'98, Budapest, Hungria, Sept. 1 - 4, 1998. Proceedings. 1998a. vol. XXXII, part 7., p. 527-531.*

SANTOS, J.R.; XAUD, M.R.; PARDI LACRUZ, M.S. (1998b). **Analysis of. the backscattering signals of JERS-1 image from savanna and tropical rainforest biomass in Brazilian Amazonia.** *IN: International Symposium on Resource and Environmental Monitoring - ISPRS ECO BP'98, Budapest, Hungria, Sept. 1 - 4, 1998. Proceedings. 1998b. vol. XXXII, part 7., p. 523-526.*

SCALES, D.; KEIL, M.; SCHMIDT, M.; KUX, H.J.H.; SANTOS, J.R. (1997). **Use of. Multitemporal ERS-1 SAR data for rainforest monitoring in Acre, Brazil, within a German/Brazilian cooperation project.** *IN: International Seminar "The Use and Applications of ERS in Latin America", Viña del Mar, Chile, Nov. 25-29, 1996. Proceedings, pp. 37- 43. (ESA SP-405, feb., 1997).*

TOREZAN, J.M.D.; SILVEIRA, M. (1996). **Equações alométricas para o cálculo de biomassa de bambu (Guadua weberbaueri Pilger) em floresta ombrófila aberta no Acre.** *In: Congresso Nacional de Botânica, 45, Nova Friburgo, Rio de Janeiro. Resumos.*

UHL, C.; BUSCHBACHER, R.; SERRÃO, E.S. (1988). **Abandoned pasture in Eastern Amazonia. I: patterns of plant succession.** *Journal of Ecology, (76): 663-681.*

MODELADO DE DATOS EN TELEDETECCIÓN: BASES TEÓRICAS Y APLICACIONES AMBIENTALES

Emilio Chuvieco y Marcela Sánchez[1]

[1]*Doctoranda del programa "Cartografía, S.I.G. y Teledetección" de la Universidad de Alcalá.*
Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá
Calle Colegios 2, 28801. Alcalá de Henares. España.

Resumen

Se pretende aportar una reflexión sobre el empleo de los datos captados mediante teledetección espacial al modelado de datos ambientales. Se revisan los principales enfoques en el modelado de datos. Se propone como ejemplo de modelo basado en datos de satélite, la estimación de la evapotranspiración en la Comunidad Autónoma de Andalucía.

1. ENFOQUES EN LA MODELIZACIÓN AMBIENTAL (TC "7.1.1. Modelos inductivos y deductivos en teledetección")

Con bastante frecuencia, se restringe el análisis de las imágenes generadas por distintos satélites de teledetección a producir una determinada cartografía temática (vegetación, cultivos, cobertura del suelo). Este enfoque, que puede realizarse visual o digitalmente, implica categorizar los datos en una serie de clases homogéneas, estableciendo fronteras entre áreas de cobertura dominante.

Con ser de gran interés este enfoque nos parece reduccionista, ya que una imagen de satélite es un conjunto sistemático de medidas cuantitativas sobre el territorio, con un nivel de resolución espacial inalcanzable en la mayor parte de los muestreos de terreno. Si esas mediciones se relacionan con ciertos parámetros ambientales de interés, a partir de una imagen podría obtenerse la distribución espacial de dichos parámetros. Por ejemplo, los parámetros climáticos de interés, como la temperatura, humedad o el viento, para una determinada región se estiman a partir de observaciones puntuales (donde se sitúan las estaciones meteorológicas), en la mayor parte de los casos desigualmente repartidas en el territorio. Esto requiere aplicar posteriormente técnicas de interpolación-extrapolación, que resultan casi siempre poco certeras, ya que es complejo considerar variables auxiliares que expliquen la heterogeneidad espacial de esas variables.

Si fuera posible establecer relaciones sólidas entre las variables de interés y las medidas de radiancia espectral realizadas por los sensores de teledetección, cabría utilizar esta técnica como fuente crítica de información para ese tipo de estudios, proporcionando además una cobertura sistemática y repetitiva del territorio.

Lógicamente, el principal escollo de este enfoque está en demostrar que las medidas que realiza el sensor están claramente asociadas a las variables que queremos medir. Como es obvio, algunas variables de interés ambiental no son estimables, hoy por hoy al menos, con los sistemas conocidos de teledetección, caso de la dirección y velocidad del viento terrestre o de la concentración de CO_2 en la atmósfera. Otras, sin embargo, sí pueden obtenerse de modo bastante certero, como es el caso de la temperatura de superficie o el albedo. El empleo de métodos más potentes de modelización y las propias mejoras en los sensores disponibles permitirán ampliar considerablemente en el futuro la lista de variables de interés ambiental obtenibles a partir de métodos de teledetección.

Podemos definir un **modelo** como una **representación de la realidad,** ya sea **cuantitativa o cualitativa.** En los términos a que nos estamos refiriendo, un modelo de análisis de datos sería una función que permitiera convertir las medidas adquiridas por teledetección con otras variables de interés, como serían la biomasa, el área foliar o la humedad de la vegetación, la temperatura y espesor de una capa de nieve o la altura del oleaje. La base para que esas u otras variables puedan estimarse a partir de teledetección es que tengan una clara relación con la manera en que las cubiertas reflejan o emiten radiación electromagnética, ya que ésta es la única fuente de datos que se maneja en teledetección. Como es sabido, los sensores remotos recogen un flujo de radiancia procedente del suelo (y/o de la atmósfera), que es consecuencia directa de cómo las cubiertas emiten energía o reflejan la energía solar o la de un foco artificial. Esos flujos se relacionan directamente con la reflectividad de las cubiertas, en las bandas del visible e infrarrojo próximo, con la temperatura, en el infrarrojo térmico, o con el coeficiente de retro-dispersión, en la región de las microondas. Esas serían las variables directamente observables por teledetección. El resto se pueden estimar en la medida que influyan en ellas. Por ejemplo, la presencia de clorofila en las hojas implica una severa reducción de la reflectividad en el espectro visible; de ahí que esta variable sea estimable a partir de la teledetección. El contenido en humedad también modifica la reflectividad, principalmente en el infrarrojo medio, pero de forma mucho más sutil que la clorofila; de ahí, que sea más complejo de estimar a partir de teledetección.

Los procesos de modelización permiten obtener funciones que relacionen las medidas espectrales

realizadas por el sensor con las variables ambientales requeridas.

En ese punto, es preciso realizar una distinción entre los modelos inductivos y deductivos o, si se prefiere, entre los modelos empíricos y los teóricos:

(i) Los modelos inductivos o empíricos serían aquellos que establecen una relación numérica entre el parámetro a estimar y los valores de la imagen, a partir de unas observaciones in situ, tomadas en el momento de adquirir aquélla. En otras palabras, se calibran los datos de la imagen con el parámetro de interés mediante funciones de ajuste local, basadas habitualmente en técnicas de regresión (Curran y Kupiec, 1995; Alonso et al., 1996; Ji et al., 1992; Ahern et al., 1991; Caselles y López, 1989), aunque también hay algunos ejemplos de ajustes mediante redes neuronales (Baret, 1995). En los dos casos, se trata de ajustes locales, sencillos de calcular y de precisión conocida. Su principal inconveniente viene dado precisamente por ese carácter local, que no permite extrapolar esas funciones a otras zonas, a otros sensores, a otras fechas en la misma zona, e incluso a otros rangos más allá de lo medido en terreno.

(ii) Modelos deductivos o teóricos. Tratan de establecer un modelo de validez general, independiente de las condiciones de observación. Parten de demostrar la relación entre el parámetro a estimar (por ejemplo, área foliar) y las variables espectrales contenidas en la imagen. Una vez comprobada esa relación, con algunos ejemplos empíricos, se invierte el modelo, de tal forma que pueda estimarse esa variable a partir de las imágenes. Esto implica un proceso de ajuste que, en muchas ocasiones, resulta muy complejo y no siempre suficientemente preciso, ya que es necesario asumir condiciones que rara vez se dan en la naturaleza (p.ej., isotropía en las hojas, terreno plano, reflectividad lambertiana, etc.). Incluso aunque esta relación entre variable de interés e información espectral sea consistente, no resulta sencillo obtener esas variables espectrales, ya que es preciso eliminar de la imagen cualquier efecto extraño a la señal procedente de la cubierta (modelar los efectos atmosféricos, la geometría de observación, el aporte del sustrato y las condiciones de mezcla con otras cubiertas, etc.). Ahora bien, pese a las dificultades que presenta, el modelado deductivo resulta un camino mucho más firme que el inductivo para estimar variables ambientales a partir de la teledetección, ya que no requiere una información de campo, simultánea a la adquisición, que sólo estará disponible cuando se haya planificado previamente un experimento con ese objetivo.

(iii) Algunos autores plantean una alternativa intermedia, que denominan **modelos semi-empíricos,** en donde se asume un previo modelado de la variable a estimar, aunque el ajuste se realiza por regresiones locales. También se asigna esta denominación cuando los ajustes locales se basan sobre variables derivadas, como es el caso de los índices espectrales de vegetación (Chuvieco, 1996, cap. 7.1.3), que ya cuenten con una relación teórica demostrada con las variables que pretenden estimarse (Danson et al., 1995).

En este artículo se presenta un ejemplo de este doble enfoque, para el caso de estimar la evapotranspiración a escala regional.

2. LA ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN A PARTIR DE IMÁGENES DE SATÉLITE

La **evapotranspiración (ET),** o flujo de calor latente, tiene un gran interés en estudios de climatología, agronomía e hidrología, al tratarse de uno de los principales mecanismos del ciclo del agua. El principal problema que plantea es su difícil medición directa, al tratarse de una variable muy heterogénea en el espacio, y dependiente de múltiples factores fisiológicos, edáficos y meteorológicos.

La mayor parte de las estimaciones de ET se han realizado a dos escalas espaciales: **global,** con una resolución muy pequeña, orientada a obtener valores promedio para clasificaciones climáticas, y **local,** es decir, en áreas muy reducidas de algunas decenas de km^2, e incluso planta a planta. En este caso, es predominante el enfoque botánico o agronómico. Se observa, en contraposición, una notable carencia de estudios a escala **regional,** sobre ámbitos más o menos extensos, pero con un cierto nivel de precisión temporal y espacial. Esta carencia puede relacionarse con la dificultad para obtener medidas directas de la variable en un número suficiente de puntos que permitan dar una visión válida del fenómeno a escala regional. La teledetección permite la extensión de modelos locales a escalas regionales (Engman y Gurney, 1991; Caselles et al., 1993 y 1998) contribuyendo a llenar el vacío que se produce en los estudios de ET a esta escala al aprovechar la observación sistemática, completa y espacialmente exhaustiva de toda la región estudiada.

Simplificando las cosas, podemos distinguir dos grupos en los modelos propuestos hasta la fecha para estimar la ET: los elaborados con este fin **(directos)** y los que han sido creados para el estudio de otros fenómenos o procesos superficiales, pero son útiles en el campo que aquí interesa dada su relación con el problema **(indirectos).**

Pueden ser considerados **directos** el modelo general que se basa en la resolución de la ecuación del balance de energía ($\mathbf{Rn = \lambda ET + H + G + PH}$ donde: **Rn** es la radiación neta; λ **ET** es el flujo de calor latente o evapotranspiración donde λ es el calor latente de vaporización y **ET** el flujo de agua evaporada; **H** es el flujo de calor sensible; **G** es el flujo de calor del suelo; PH es la energía utilizada en la fotosíntesis y en calentar la biomasa vegetal (Sánchez T., 1992)) y los diversos modelos, muy precisos, que se siguen desarrollando a partir de ella. Todos éstos se presentan como métodos muy atractivos para determinar la **ET,** ya sea en forma directa o como residual, en la medida en que la teledetección aporta información a la solución de la ecuación, pero requieren para su aplicación operativa de información proporcionada por estaciones meteorológicas.

Métodos **indirectos** son, por un lado, los basados en las características espectrales de la vegetación o en la temperatura superficial, y, por otro, los que aprovechan la combinación de ambas variables. Como señalan Yang, W. et al. (1997), la **ET** posee factores comunes con la reflectividad de la vegetación en las regiones visible e infrarrojo óptico, ya que ambas variables son afectadas por el régimen de radiación y temperatura, el déficit de presión de vapor y otras condiciones meteorológicas. De ahí que se

hayan obtenido buenas correlaciones entre evolución temporal de la **ET** y de índices espectrales de vegetación, en distintos climas: Wiegand y Richardson (1990), Cihlar et al. (1991), Mora e Iverson (1998), entre otros.

En cuanto a los métodos que **combinan** estos índices de vegetación (especialmente el **NDVI**) y la temperatura de superficie (**TS**), se ha comprobado en varios estudios una relación negativa entre ambas variables, que puede ser indicador de las condiciones de estrés hídrico en las plantas (Nemani y Running, 1989; Nemani et al., 1993; Choudhury, 1994; Prosper-Laget et al., 1995; Yang, X. et al. 1997, entre otros). La base de esta relación negativa, como señalan Nemani y Running (1989), Yang, X. et al. (1997) y Caselles et al. (1998), está en la disminución de la TS que acompaña a una zona densamente cubierta de vegetación y adecuadamente irrigada, como consecuencia del enfriamiento provocado en la misma por el flujo de calor latente o **ET**. Por el contrario, cuando la vegetación está seca, se reduce la ET y la actividad fotosintética, y por tanto aumenta la temperatura de superficie y disminuyen los índices de vegetación. Siguiendo esta relación, Nemani y Running (1989) sugirieron emplear la pendiente de la línea de regresión entre **TS** y **NDVI** como un estimador del cociente entre la ET real y la potencial, y en última instancia del estrés hídrico. Otros modelos que se han basado en estas relaciones teóricas son los propuestos por Jackson et al. (1981) y Moran et al. (1994).

3. MODELADO DE LA ET EN ANDALUCÍA A PARTIR DE IMÁGENES NOAA

Presentamos a continuación un ejemplo que ilustra el modelado de datos en teledetección con el caso concreto de la estimación de ET en Andalucía (Este trabajo forma parte del proyecto de tesis doctoral de M. Sánchez). El trabajo se extiende al período 1994-1997, y cubre todo el territorio andaluz (87.000 km²). La amplitud temporal y espacial garantiza una variabilidad suficiente para contrastar resultados, si se consideran, por una parte, las variadas condiciones climáticas y vegetacionales de Andalucía, por un lado, y la amplitud estacional del período, que permite observar diferentes situaciones meteorológicas, por otro.

El proyecto se desarrolla en cuatro etapas fundamentales:

(i) Se comienza con la estimación de la ET con un método convencional basado en datos meteorológicos. Estos datos se interpolan al conjunto del territorio, obteniéndose unos errores asociados al proceso de interpolación espacial.

(ii) A continuación, se calculan las variables espectrales de interés a partir de imágenes adquiridas por el sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) a bordo del satélite NOAA para las mismas fechas. Estas imágenes sirven de base para una nueva interpolación espacial, que se compara con la obtenida en (i) mediante análisis de regresión. Esto sería un ejemplo claro de modelado inductivo, ya que se ajusta el modelo a posteriori de obtener los datos de terreno.

(iii) Finalmente, se aplican modelos teóricos para estimar directamente la ET a partir de imágenes de satélite ET a partir de los datos de satélite. En este caso, abordaríamos un modelado deductivo, para luego comprobar el ajuste conseguido con los datos estimados en (i). Puesto que esta fase del trabajo todavía se encuentra en desarrollo, nos centraremos en este artículo en los dos primeros pasos.

La información meteorológica base para estimar la ET es la proporcionada por 30 estaciones meteorológicas distribuidas en la región, representativas de los 7 tipos climáticos definidos en el Atlas de Andalucía y de España elaborado por ANAYA (ANAYA, 1996).

La estimación de la ET con los datos meteorológicos ha sido realizado en dos pasos. En primer lugar, estimamos la ET del cultivo de referencia **(ETr)** con el método Penman-Monteith y luego se corrige ese valor para estimar la ET máxima aplicando coeficientes de cultivo. El método que hemos seguido para calcular la **ETr** corresponde a una modificación, propuesta por J.L. Monteith en 1965, de la ecuación de combinación del balance de energía y la transferencia turbulenta del vapor de agua propuesta originalmente por Penman en 1948. La formulación que hemos utilizado es la proporcionada por Allen et al. (1989):

$$\lambda ET = \frac{\Delta x (R_n - G) + \rho x C_p x (e_s - e_a)/r_a}{\Delta + \gamma x (1 + r_c / r_a)}$$

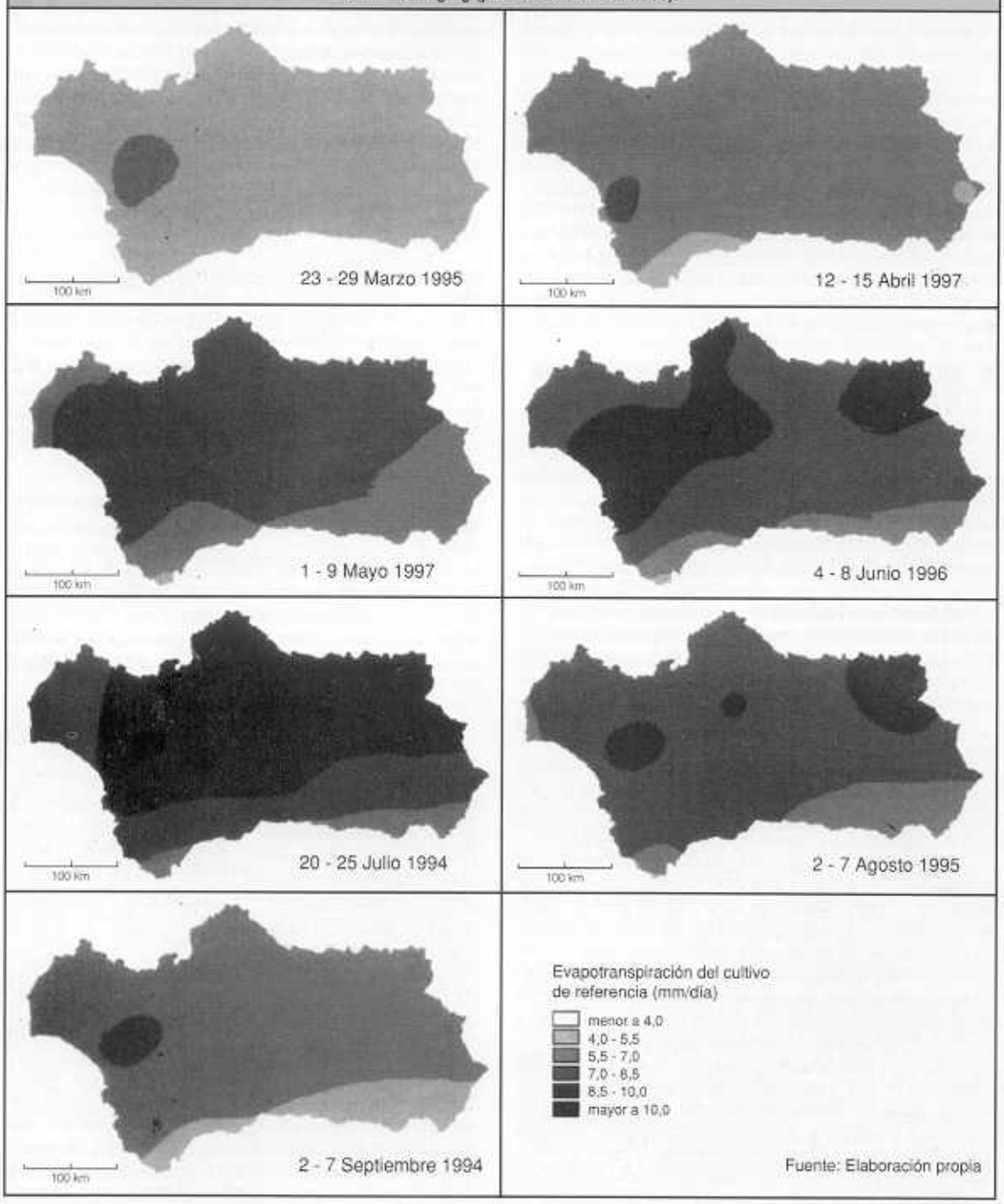
donde:

- λET : flujo de calor latente, expresado en MJ/m²/t, siendo **t** el período para el cual se realiza la estimación.
- Δ : pendiente de la curva de saturación de vapor/temperatura, expresada en kPa/ºC
- R_n : radiación neta, expresada en MJ/m²/t
- G : flujo de calor del suelo, expresado en MJ/m²/t
- ρ : densidad del aire, expresada en kg/m³
- C_p : calor específico del aire, expresado en MJ/kg/ºC
- $(e_s - e_a)$: déficit de presión de vapor, expresado en kPa
- γ : constante psicrométrica, expresada en kPa/ºC
- r_a : resistencia aerodinámica a la difusión del vapor y calor, expresada en t/m
- r_c : resistencia de la cubierta vegetal, expresada en t/m
- t : escala de tiempo para la cual el flujo de vapor va a ser estimado

Pese a la complejidad del método, ha demostrado ser uno de los más precisos en la determinación de la **ETr.** Este concepto indica la ET que correspondería a un cultivo imaginario (en este caso gramíneas) bajo las condiciones meteorológicas prevalecientes en el momento en que se realiza la estimación; se asume que ese cultivo cubre toda el área estudiada y no sufre carencia de agua (Sánchez, 1992). Sin embargo, para efectos prácticos lo que interesa conocer es la cantidad de agua requerida por las diferentes cubiertas vegetales presentes en la región, es decir, la ET máxima **(ETm),** por ello la ETr debe corregirse y adaptarse a la vegetación real. Esta corrección se realiza con la aplicación de los denominados coeficientes de cultivo **Kc,** que relacionan la cantidad de agua "evapotranspirada" por un cultivo de referencia con la correspondiente a cualquier otro cultivo, con ello se conoce finalmente la ETm. Los Kc son específicos para cada tipo de vegetal y su etapa fenológica. En este trabajo nos centraremos en el cálculo de la primera, ya que nuestro objetivo fundamental eran las áreas forestales, para las que hay poca experiencia sobre coeficientes de cultivo.

El método Penman-Monteith facilita como resultado el flujo de calor latente expresado en unidades de energía, en este caso (W/m²). Este flujo de calor latente puede ser transformado en volúmenes de agua "evapotranspirada" si se divide su valor por el calor latente de vaporización. En nuestro caso, se aplicó la conversión a (mm/día) utilizando el modelo propuesto por Jackson et al. en 1983. Con este modelo se obtienen mejores resultados si se aplica en días con cielos despejados (Zhang y Lemeur, 1995). Otras referencias sobre el modelo son proporcionadas por Delegido et al. (1991); Kustas y Norman (1996) y Yang, X. et al. (1997). En nuestro caso, calculamos el valor de ETr para todos los días comprendido entre marzo y septiembre de 1994 a 1997 en las 30 estaciones disponibles. Para obtener una cartografía regional de la ETr, se procedió

Figura 1: Interpolación espacial de la ETr mediante método de kriging (periodos seleccionados).



posteriormente a aplicar una interpolación espacial. Tras varios ensayos, se decidió finalmente emplear el método **kriging,** que se basa en una determinación de la variancia espacial, a partir de la situación de las estaciones base.

De las 399 imágenes de satélite disponibles para los cuatro años del periodo de estudio fueron seleccionadas alrededor de 150 que presentaban una calidad geométrica y radiométrica adecuada, además que ofrecían baja cobertura nubosa para la Comunidad de Andalucía. En cuanto a las variables generadas a partir de estas imágenes se han considerado aquéllas que podían teóricamente estar más relacionadas con el flujo de calor latente o **ET.** Se seleccionaron básicamente dos, una relativa a las características espectrales de la vegetación a partir de las cuales se obtuvo el índice de vegetación **NDVI,** y la temperatura de superficie. Desde el NDVI se obtuvieron las variables **MVC** (Maximum Value Composites), verdor relativo (**VERDOR**) y decremento del NDVI (**DEC**); mientras, a partir de la segunda y los datos meteorológicos se obtuvo la diferencia entre la temperatura superficial y la temperatura del aire (**TS-TA**). Finalmente, se calculó el cociente entre el NDVI y la temperatura superficial (**NDVI/TS**) y el índice desarrollado por Moran et al. (1994), el Water Stress Index (**WDI**). Las fórmulas para obtener estos parámetros pueden consultarse en Desbois et al. (1997). Este texto forma parte de un libro publicado en el marco del proyecto europeo **Megafires,** que incluye una amplia revisión bibliográfica sobre técnicas de teledetección aplicadas al estudio de incendios forestales. Este trabajo está disponible en la página Web del proyecto Megafires: **www.geogra.alcala.es/megafires**.

A continuación se repasan las dos primeras fases del esquema previamente sugerido para modelar la ET.

3.1. Modelado espacial de la ETr sin contar con imágenes de satélite

Una vez calculados los valores de ETr a partir de la fórmula de Penman-Monteith analizada previamente, para cada estación meteorológica y día del periodo de estudio (marzo a septiembre de 1994 a 1997), se procedió a generar mapas de la **ETr** para periodos significativos. Estos mapas se generaron a partir de los valores estimados en las 30 estaciones disponibles empleando métodos de interpolación espacial. Para contrastar la calidad de los resultados, se emplearon únicamente 25 estaciones en la interpolación, dejando 5 para estimar los errores. Entre los métodos de interpolación disponibles, se ensayaron distintos basados en las distancias (medias móviles, polígonos de Thiessen, perfiles), y en variables auxiliares (altitud, orientación, cercanía a la costa). Los resultados más adecuados se obtuvieron con el método de **kriging,** que considera la variación regional de la **ET** a partir del análisis previo del semi-variograma (Bosque, 1992; Burrough y...., 1997). Los mapas resultado **(fig. 1)** muestran una zonificación muy suavizada de la variable, muy dependiente de la localización de los puntos muestrales (en este caso las estaciones meteorológicas), si bien no se observaron sesgos al compararlos con los datos de verificación.

Del análisis de estos mapas se deduce que la ETr alcanza en Andalucía sus valores más bajos en marzo y su mayor intensidad en julio para disminuir hacia septiembre, aunque en este último mes no se alcanzan valores tan bajos como en marzo. En cuanto a las diferencias entre un año y otro, 1994 y 1995 aparecen como aquellos en que el fenómeno, se presenta con mayor intensidad, más marcada en las estaciones de interior (19), que siempre presentan los montos más elevados. En las costeras (11), con una ETr más baja, esta situación no se presenta, ya que son más estables en los cuatro años. Debe añadirse también que la observación general de los 30 observatorios meteorológicos estudiados indica que las estaciones de interior son homogéneas entre sí en cuanto al comportamiento del fenómeno; prácticamente no se observan diferencias entre los distintos tipos de clima; situación que no ocurre en las estaciones de costa muy variables entre sí, incluso dentro de un mismo tipo de clima.

3.2. Modelado espacial de la ETr con imágenes de satélite

Las variables obtenidas de las imágenes de satélite también experimentan grandes variaciones temporales **(fig. 2).** Estacionalmente se aprecian áreas de grandes contrastes y otras de mayor estabilidad. Las áreas más dinámicas corresponden a las zonas de secano y regadío del valle y vega del Guadalquivir, mientras que las más estables son las zonas altas forestales del sector oriental de la región como las sierras Nevada, Cazorla, Segura y también del sur de la provincia de Cádiz, desde Tarifa al norte y las sierras de Grazalema y Ronda. También son destacables las variaciones que se producen entre un año y otro.

El segundo intento de modelar la **ETr** se basó en los análisis de correlación entre esta variable y las deducidas de las imágenes NOAA-AVHRR. Se abordaron correlaciones temporales (evolución de la ETr en cada estación a lo largo del tiempo) y espaciales (variación de la variable en un período determinado para las estaciones disponibles). Las primeras ofrecieron, para la mayoría de las estaciones, un buen ajuste entre la ETr y el cociente entre el **NDVI** y la **TS,** así como la diferencia **TS-TA** y la propia TS, alta y significativamente correlacionada en la mayoría de las estaciones (con todas ellas en el año 1995).

Estas buenas correlaciones permitieron abordar la estimación espacial de la ETr a partir de ecuaciones de regresión, simple y múltiple **(fig. 3).** Las ecuaciones obtenidas para la ETr en días y periodos escogidos señalaron, como se observa en la **tabla 1** a las variables TS, TS-TA, VERDOR y NDVI como significativas, especialmente las dos primeras, presentes, respectivamente, en 13 y 14 de las 14 pruebas realizadas. El coeficiente de determinación ajustado **(r^2)**, tabla 1, osciló entre un 72,3% (como único caso bajo el 80%) y un 88,7%.

El nivel de precisión de las estimaciones fue valorado a través del valor de ETr residual de las estaciones que no se habían empleado en el ajuste, las mismas que tampoco se utilizaron para calcular los mapas generados por el método de kriging. Como puede observarse en la **tabla 2,** en todos los casos el residual alcanzado a partir de ajuste sobre imágenes de satélite fue notablemente inferior al obtenido mediante kriging. Si se considera como medida de

precisión el porcentaje de variación entre el valor observado (calculado con Penman-Monteith) y los estimados (kriging y ecuación de regresión), con las ecuaciones de regresión sólo el 3% de los datos de verificación son superiores al 10% de error (obteniéndose un valor máximo de 12,6% equivalente a 0,7 mm/día en el día de la estimación), y más del 78% son menores al 5% de variación. Estas cifras contrastan con el 30% y 40% obtenidos con kriging en las mismas estaciones. Con este método se supera en varias ocasiones 1 mm/día de variación.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo a los datos presentados en las tablas y comentarios anteriores se desprende que las imágenes

Figura 2. Evolución temporal de la temperatura de superficie para períodos seleccionados a partir de imágenes NOAA-AVHRR.

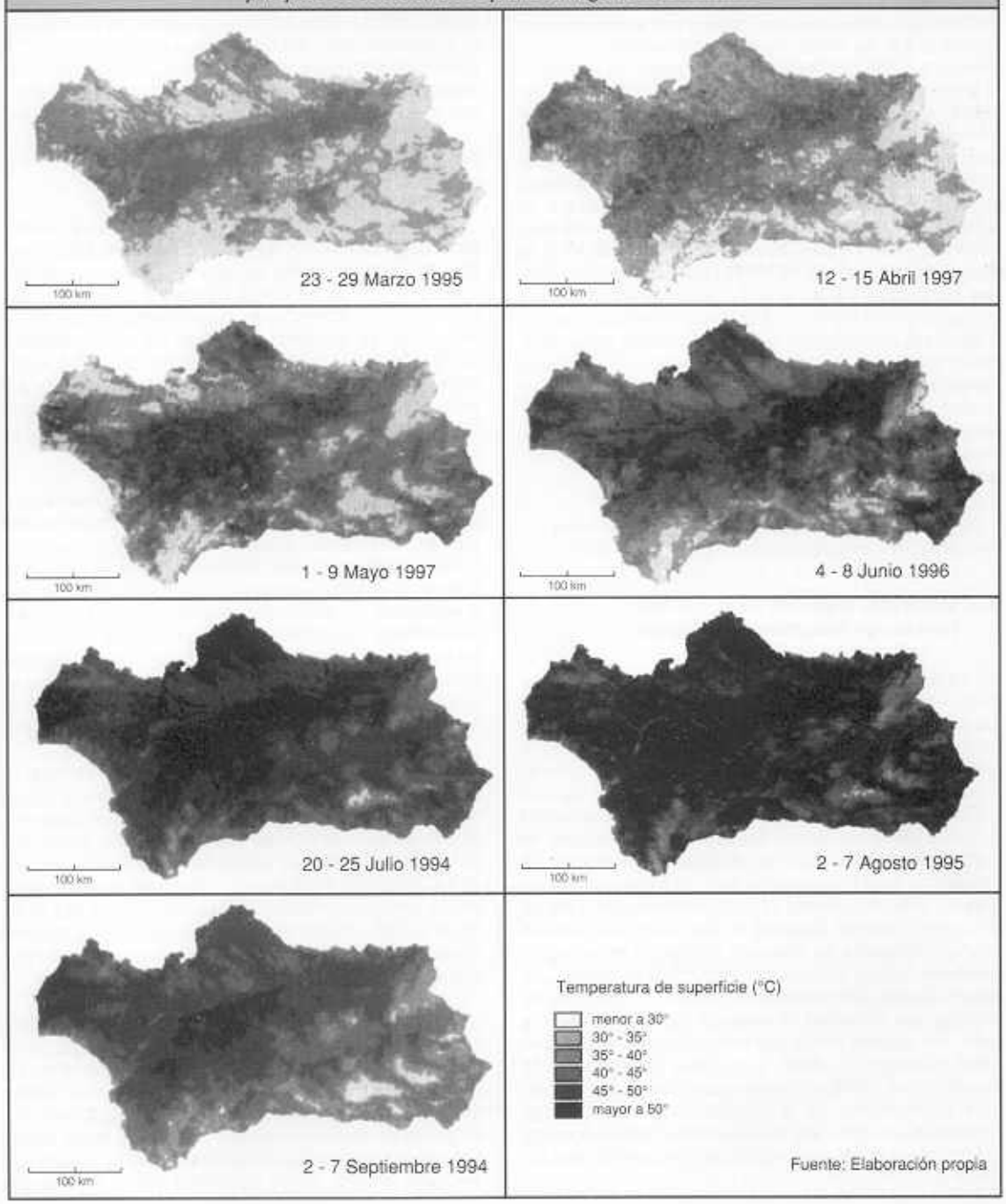


Tabla 1. Variables seleccionadas y r^2 ajustado de las ecuaciones de regresión múltiple para estimar ETr en días y periodos escogidos.

DIAS	VARIABLES	r^2	PERIODOS	VARIABLES	r^2
29 marzo 1995	TS, TS-TA	84,8	23–29 marzo 1995	TS, TS-TA	84,8
13 abril 1997	TS, TS-TA, VERDOR	80,9	12–15 abril 1997	TS,TS-TA, VERDOR	88,7
28 mayo 1994	TS, TS-TA- NDVI	84,4	1-9 mayo 1997	TS, TS-TA, NDVI/TS	72,3
4 junio 1996	TS-TA, VERDOR, NDVI/TS	88,3	4-8 junio 1996	TS, TS-TA, VERDOR	86,3
21 julio 1994	TS, TS-TA, VERDOR	84,6	20-25 julio 1994	TS, TS-TA, NDVI	88,7
22 agosto 1996	TS, TS-TA, VERDOR, DEC	83,6	2-7 agosto 1995	TS, TS-TA	86,3
29 septiembre 1995	TS, TS-TA	88,2	2-7 septiembre 1994	TS, TS-TA, NDVI/TS	81,2

Tabla 2 Error cuadrático medio (RMS) de la interpolación espacial de la ETr (mm/día) con el método de kriging y con las ecuaciones de regresión múltiple.

Días	Error cuadrático medio		Periodos	Error cuadrático medio	
	Método kriging	Regresión múltiple		Método kriging	Regresión múltiple
29 marzo 1995	0,63	0,36	23–29 marzo 1995	0,54	0,38
13 abril 1997	0,58	0,15	12–15 abril 1997	0,58	0,12
28 mayo 1994	0,47	0,31	1-9 mayo 1997	0,57	0,35
4 junio 1996	0,59	0,22	4-8 junio 1996	0,63	0,28
21 julio 1994	0,63	0,29	20-25 julio 1994	0,90	0,44
22 agosto 1996	0,72	0,30	2-7 agosto 1995	0,78	0,29
29 septiembre 1995	0,87	0,27	2-7 septiembre 1994	0,52	0,34

de satélite, a través de la aplicación sistemática de las ecuaciones encontradas, pueden ser utilizadas en la obtención de una visión continua de la **ETr** en el área de estudio, lo que en otras palabras significa "interpolar" espacialmente los datos obtenidos con el método Penman-Monteith, con una mejor precisión que la alcanzada con el método kriging; precisión que se encuentra dentro de los márgenes convencionales en este tipo de estudios.

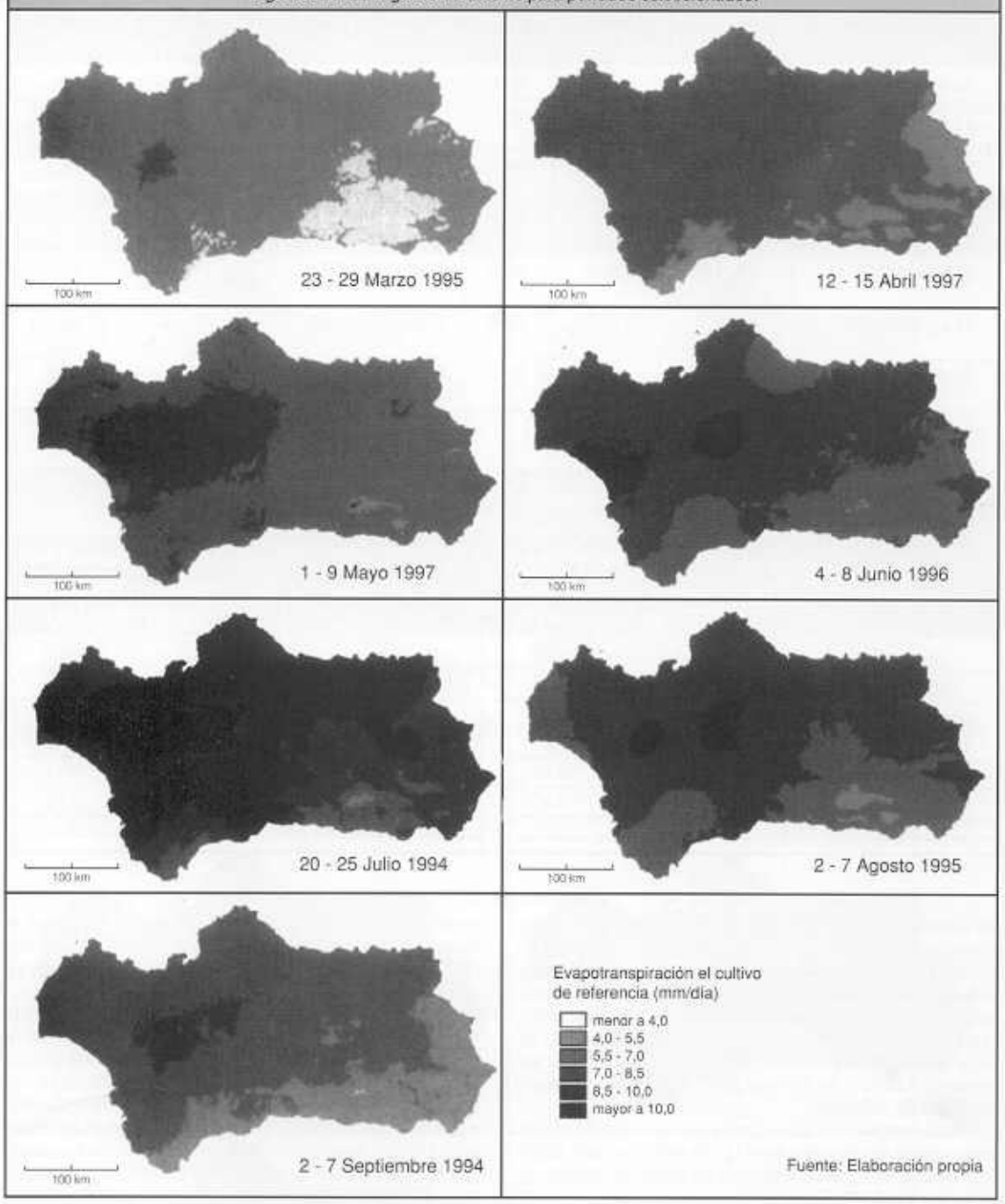
Para obtener una imagen continua de las variaciones que se producen en la región entre la ETr obtenidas con datos meteorológicos y con las imágenes de satélite se elaboró un mapa para cada día y periodo que expresa el porcentaje de variación que representa la diferencia entre los dos valores con respecto al valor alcanzado con los datos meteorológicos. Se tomaron como observaciones los mapas obtenidos con la interpolación de datos meteorológicos y los mapas construidos con las ecuaciones de regresión.

Las mayores variaciones se presentan en el sector oriental de la región a diferencia de lo que ocurre en el valle del Guadalquivir y las zonas occidentales, que registran valores inferiores. La situación de las primeras zonas señaladas puede atribuirse a la falta de estaciones meteorológicas en estas áreas, lo que implica que el modelo no esté calibrado adecuadamente en esas zonas. Los resultados contenidos en los mapas de porcentaje de variación deben ser considerados sólo como una aproximación, no como una medida de la precisión de la estimación de ETr con datos de satélite, puesto que ésta ya ha demostrado ser satisfactoria al considerar los valores obtenidos en las estaciones meteorológicas de verificación, los únicos que pueden ser evaluados con seguridad. La magnitud de la variación **kriging-regresión** en puntos no muestrales debe tomarse con cautela dado que también está en función de las bondades del método kriging, cuyo resultado se toma como referencia.

5. CONCLUSIONES

Como conclusión general se puede confirmar la utilidad de la teledetección en la determinación de la **ETr** a **escala regional** y su capacidad para reproducir, con cierta precisión, las variaciones **espaciales** y **temporales** de un fenómeno tan complejo, producto de tan diversos aspectos como la **ET.** Así lo demuestran las buenas correlaciones entre la ET estimada con el

Figura 3: Interpolación espacial de ETr a partir de análisis de regresión con imágenes de satélite para períodos seleccionados.



método Penman-Monteith y la información obtenida de las imágenes de satélite en los puntos donde se sitúan las estaciones meteorológicas, y también las medidas de error o variación obtenidas entre los valores calculados con Penman-Monteith y los estimados con ecuaciones de regresión y un método convencional de interpolación espacial. De acuerdo a los resultados, las imágenes **NOAA-AVHRR** pueden ser utilizadas con similar precisión en cualquier momento dentro del período estudiado, puesto que no se detectó la influencia del factor temporal en los parámetros de control; tampoco se reflejaron diferencias en los resultados si se analizaban valores e imágenes diarios o una colección de ellos.

REFERENCIAS:

AHERN, F.J.; ERDLE, T.; MACLEAN, D.A. y KNEPPECK, I.D. (1991): **A quantitative relationship between forest growth rates and Thematic Mapper reflectance measurements,** International Journal of Remote Sensing, vol. 12, pp. 387-400.

ALLEN, R.J.; JENSEN, M.E.; WRIGHT, J.L. y BURMAN, R.D. (1989): **Operational estimates of reference evapotranspiration.** Agronomy Journal, vol. 81, pp. 650-662.

ALONSO, M.; CAMARASA, A.; CHUVIECO, E.; COCERO, D.; KYUN, Y.; MARTÍN, M. P. y SALAS, F.J. (1996): **Estimating temporal dynamics of fuel moisture content of Mediterranean species from NOAA - AVHRR data,** EARSeL Advances in Remote Sensing (en prensa).

ANAYA Editorial (1996): **Atlas de Andalucía y de España.** Madrid.

BARET, F. (1995): **Use of spectral reflectance variation to retrieve canopy biophysical characteristics,** en Advances in Environmental Remote Sensing (F.M. Danson y S.E.Plummer, Eds.), John Wiley & Sons, Chichester, pp. 33 - 51.

BOSQUE, J. (1992): **Sistemas de Información Geográfica,** Madrid, Rialp.

BURROUGH, P.A. y McDONNELL, R.A. (1997): **Principles of Geographical Information Systems.** New York, Oxford University Press.

CASELLES, V. y LÓPEZ, M.J. (1989): **An alternative simple approach to estimate atmospheric correction in multitemporal studies,** International Journal of Remote Sensing, vol. 10, pp. 1127 - 1134.

CASELLES M., V; DELEGIDO G., J.V. y HURTADO S., E. (1993): **Capítulo X: Teledetección: Aplicación a la determinación de la evapotranspiración.** En Agronomía del Riego, coordinadores Martín de Santa Olalla M., F.J. y De Juan V., J.A. Universidad de Castilla-La Mancha. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

CASELLES, V.; ARTIGAO, M.M.; HURTADO, E.; COLL, C. y BRASA, A. (1998): **Mapping actual evapotranspiration by combining Landsat TM and NOAA-AVHRR images: application to the Barrax area, Albacete, Spain.** Remote Sensing of Environment, vol. 63, pp. 1-10.

CHOUDHURY, B.J. (1994): **Synergism of multispectral satellite observations for estimating regional land surface evaporation.** Remote Sensing of Environment, vol. 49, pp. 264-274.

CHUVIECO, E. (1996): **Fundamentos de Teledetección Espacial.** Editorial Rialp. Tercera edición. Madrid.

CIHLAR, J.; St. LAURENT, L. y DYER, J.A. (1991): **Relation between the Normalized Difference Vegetation Index and ecological variables.** Remote Sensing of Environment, vol. 35, pp. 279-298.

CURRAN, P.J. y KUPIEC, J.A. (1995): **Imaging spectrometry: a new tool for ecology,** en Advances in Environmental Remote Sensing (F.M. Danson y S.E. Plummer, Eds.), John Wiley & Sons, Chichester, pp. 71 - 88.

DANSON, F.M., PLUMMER, S.E. y BRIGGS, S.A. (1995): **Remote Sensing and the information extraction problem,** en Advances in Environmental Remote Sensing (F.M. Danson y S.E. Plummer, Eds.), John Wiley & Sons, Chichester, pp. 171 - 177.

DELEGIDO, J.; CASELLES, V. y HURTADO, E. (1991): **Determinación a escala regional de la evapotranspiración, en La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales.** Recursos renovables: Agricultura, coordinadores de la edición S. Gandía y J. Meliá. Universidad Politécnica, Valencia, pp. 345-370.

DESBOIS, N., PEREIRA, J.M.C.; BEUDOIN, A.; CHUVIECO, E. y VIDAL, A. (1997): **Short term fire risk mapping using remote sensing** en A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires (Emilio Chuvieco, Ed). Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá, pp. 29-60.

ENGMAN, E.T. y GURNEY, R.J. (1991): **Remote Sensing in Hidrology.** Chapman and Hall. Cambridge.

JACKSON, R.D.; IDSO, S.B.; REGINATO, R.J. y PINTER, P.J. (1981) **Canopy temperature as a crop water stress indicator.** Water Resources, vol. 17, pp. 1133-1138, citado por Vidal, A., y Devaux-Ros, C. (1995): Evaluating forest fire hazard with Landsat TM derived water stress index. Agricultural and Forest Meteorology, vol. 77, pp. 207-224.

JACKSON, R.D.; HATFIELD, J.L.; REGINATO, R.J.; IDSO, S.B. y PINTER, P.J. (1983): **Estimation of daily evapotranspiration from one time-of-day measurements.** Agricultural Water Management, vol. 7, pp. 351-362.

JI, W., CIVCO, D.L. y KENNARD, W.C. (1992): **Satellite remote bathymetry: a new mechanism for modelling,** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 58, pp. 545 - 549.

KUSTAS, W.P. y NORMAN, J.M. (1996): **Use of remote sensing for evapotranspiration monitoring over land surfaces.** Hydrological Sciences Journal, vol. 41, Nº 4, pp. 495-517.

MORA, F. y IVERSON, L.R. (1998): **On the sources of vegetation activity variation, and their relation with water balance in Mexico.** International Journal of Remote Sensing, vol. 19, Nº 10, pp. 1843-1871.

MORAN, M.S.; CLARKE, T.R.; INOUE, Y. y VIDAL, A. (1994): **Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index.** Remote Sensing of Environment, vol. 49, pp. 246-263.

NEMANI, R.R. y RUNNING, S.W. (1989): **Estimation of regional surface resistance to evapotranspiration from NDVI and Thermal-IR AVHRR data.** Journal of Applied Meteorology, vol. 28, pp. 276-284.

NEMANI, R.; PIERCE, L.; RUNNING, S. y GOWARD, S. (1993): **Developing satellite-derived estimates of surface moisture status.** Journal of Applied Meteorology, vol. 32, pp. 548-557.

PROSPER-LAGET, V.; DOUGUEDROIT, A. y GUINOT, J.P. (1995): **Mapping the risk of forest fire ocurrence using NOAA satellite information.** EARSel Advances in Remote Sensing 4 (3-XII), pp. 30-38.

SÁNCHEZ M., M.I. (1998): **Estimación de evapotranspiración máxima a través de datos meteorológicos e imágenes de satélite.** Trabajo de investigación. Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá de Henares.

SÁNCHEZ T., M.I. (1992): **Métodos para el estudio de la evaporación y evapotranspiración,** Cuadernos Técnicos de la Sociedad Española de Geomorfología. Geoforma Ediciones. Logroño.

SEGUIN, B.; COURAULT, D. y GUERIF, M. (1994): **Surface temperature and evapotranspiration application of local scale methods to regional scales using satellite data.** Remote Sensing of Environment, vol. 49, pp. 287-295.

WIEGAND, C.L. y RICHARDSON, A.J. (1990): **Use of spectral vegetation indices to infer leaf area, evapotranspiration and yield, I. Rationale.** Agronomy Journal, vol. 82, pp. 623-629 citado por Cihlar, J.; St. Laurent, L. y Dyer, J.A. (1991): Relation between the Normalized Difference Vegetation Index and ecological variables. Remote Sensing of Environment, vol. 35, pp. 279-298.

YANG, W.; YANG, L. y MERCHANT, J.W. (1997): **An assessment of AVHRR/NDVI-ecoclimatological relations in Nebraska, U.S.A.** International Journal of Remote Sensing, vol. 18, Nº 10, pp. 2161-2180.

YANG, X.; ZHOU, Q. y MELVILLE, M. (1997): **Estimating local sugarcane evapotranspiration usong Landsat TM image and a VITT concept.** International Journal of Remote Sensing, vol. 18, Nº 2, pp. 453-459.

ZHANG, L. y LEMEUR, R. (1995): **Evaluation of daily evapotranspiration estimates from instantaneous measurements.** Agricultural and Forest Meteorology, vol. 74, Nº 1-2, pp. 139-154.

EL TIEMPO DE LOS MICRO - SATÉLITES

Héctor Gutiérrez Méndez

MSc Ingeniería Satelital (UK). Subdirección de Estudios e Informática.
Dirección General de Aeronáutica Civil de Chile. Fono: (562) 4107344; FAX: (562) 4107232

Introducción

En los últimos años la comunidad científica viene conociendo el esfuerzo de varios países en desarrollo, especialmente de América Latina, por poner en órbita pequeños satélites, que les permitan experimentar y de alguna manera encontrar el conocimiento y experiencia en el campo espacial; de esta manera surgen proyectos en Perú, Argentina, Brasil y Chile.

Cada país, de acuerdo a sus propias necesidades y recursos, ha desarrollado programas espaciales de diferentes alcances.

Los micro - satélites surgen también con fuerza para aplicaciones específicas, como seguimiento de incendios forestales, disminución de la capa de ozono, tormentas, etc.

El satélite Chileno es un ejemplo de estos microsatélites y constituye un esfuerzo por adquirir experiencia y conocimiento sobre un campo que representa una tecnología de futuro.

1. EL SATÉLITE FASAT-BRAVO.

Este satélite fue construido en un plazo de un año y seis meses, aproximadamente. El satélite fue construido por la Fuerza Aérea de Chile y la Universidad de Surry de Inglaterra.

1.1. Objetivo

El objetivo primario del programa es obtener para Chile la experiencia científica y tecnológica básica, que permita continuar con proyectos posteriores más complejos y generar conciencia nacional en relación a la utilización de la tecnología espacial.

1.2. Funciones

El satélite lleva en su interior seis experimentos, los cuales ayudarán en diferentes aspectos al país; como por ejemplo mejorar los sistemas de navegación aérea, comunicaciones satelitales, meteorología, control de la capa de ozono, prospecciones para la agroindustria, medicina aerospacial, protección del medio ambiente y una nueva alternativa en la educación a distancia.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL

El satélite FASat-Bravo, de aproximadamente 50 kilogramos de peso, pertenece a la clase de los denominados microsatélites de órbita baja, los cuales operan entre los 600 y 1200 kilómetros de altura. El satélite está construido en torno a un cuerpo central con forma de paralepípedo recto, de 60 cm. de altura y con una base cuadrada de 35 cm. por lado. El interior del cuerpo central está formado por 11 módulos o bandejas que albergan todos los circuitos electrónicos, mientras que en el exterior de sus cuatro caras laterales, se ubican los paneles solares que le proveen energía eléctrica.

En la parte inferior del cuerpo central, se encuentra el módulo denominado Plataforma de Observación Terrestre, el cual alberga los sensores o cámaras destinados a la observación de la Tierra y las antenas del enlace espacio-tierra. En la cara superior del cuerpo central están las antenas de enlace tierra-espacio y el brazo telescópico estabilizador, el cual una vez extendido en órbita, mide 6 metros de largo.

Si bien el satélite parece sencillo debido al pequeño tamaño de su cuerpo central, es en realidad un sofisticado y complejo sistema, ya que en un reducido volumen contiene una gran cantidad de componentes y dispositivos electrónicos, que conforman los experimentos y sistemas básicos que han sido diseñados para cumplir una diversidad de funciones en el espacio exterior.

3. EXPERIMENTOS A BORDO

Los experimentos a bordo son las llamadas cargas útiles del satélite, las cuales definen el propósito específico de su misión en el espacio. En el caso del FASat-Bravo los experimentos principales son los siguientes.

Tabla 1. Principales Características del Satélite

Dimensiones	35 x 35 x 60 cm. (base y altura).
Peso	50 kg.
Alimentación	4 paneles solares.
Vida útil	Mínimo 6 años.
Comunicaciones	En rango VHF para enlace de subida y UHF para enlace de bajada.
Sistema Modular	Posee 11 módulos donde van alojados los diferentes componentes del sistema. Además una plataforma de observación terrestre donde van alojados sensores y cámaras de los diferentes experimentos.

Tabla 2. Características de la Orbita	
Inclinación	cercana a una órbita polar
Altura promedio	835 Km. (Orbita Baja)
Período orbital	101 minutos
Tiempo útil de extracción e inserción de datos	3 pasadas durante el día y 3 durante la noche.

Fig. 1. Configuración interna del Satélite FASat-Bravo

3.1. Experimento de Monitoreo de la Capa de Ozono (OLME)

3.1.1. Descripción

Este experimento está basado en la medición de la intensidad de la radiación solar ultravioleta dispersa por la atmósfera, en una banda de longitudes de onda cercanas a los 300 nm. El experimento OLME está constituido por dos sistemas independientes de medición para ralizar el monitoreo:

- Dos cámaras basadas en detectores CCD, con filtros especialmente diseñados para captar la radiación ultravioleta requerida.
- Cuatro detectores fotodiodos conectados al sistema de telemetría del satélite, dotados de filtros especialmente diseñados que permitirán apoyar el monitoreo permanente de la capa de ozono.

3.1.2. Importancia del Experimento OLME

Es muy importante que Chile pueda medir el espesor de la capa de ozono desde un satélite propio, ya que hay que controlar permanentemente la intensidad y extensión geográfica del hoyo en la capa. Esto último permitirá que se tomen con anticipación las medidas tendientes a prevenir los efectos adversos del exceso de radiación ultravioleta (cataratas en los ojos, cáncer a la piel y alteraciones en el sistema inmunológico).

La medición desde un satélite permite cubrir un área geográfica muy extensa, mientras que las mediciones basadas en tierra, cubren solamente un área limitada. El que nuestro país pueda realizar estas mediciones por sus propios medios, fomenta la investigación y desarrollo nacional en materia de prospección y conservación del medio ambiente y recursos naturales.

El hecho de que Chile pueda realizar prospección remota del medio ambiente desde su propio satélite, constituye el primer paso para acceder directamente a otras posibles aplicaciones de esta tecnología espacial, tales como son la prospección de recursos vegetales y minerales, la detección de erupciones volcánicas e incendios forestales, la medición de niveles de contaminación atmosférica (smog), cantidad de nieve caída y cambios en las corrientes marinas (Corriente del Niño, por ejemplo).

3.2. Experimento de Transferencia de Data (DTE)

Propósito del Experimento.

El Experimento de Transferencia de Datos (DTE Data Transfer Experiment) tiene un doble propósito. El primero es establecer transferencia electrónica de datos entre distintos puntos de nuestro territorio continental e insular. El segundo es estudiar técnicas y procedimientos que permitan mejorar la calidad de los enlaces de comunicaciones en el territorio y los satélites de órbita baja.

El experimento DTE está constituido de dos segmentos:

- **Segmento Espacial,** consistente en dos receptores VHF controlados por Unidades de Procesamiento Digital de Señales (DSP) y conectados al Sistema Común de Antenas del satélite.
- **Segmento Terrestre,** definiéndose de acuerdo al experimento específico de transmisión de datos que se desee realizar. Los experimentos que se desarrollarán en etapas posteriores son:
  - Transferencia de mensajes entre dos estaciones terrenas.
  - Caracterización de Comunicaciones.
  - Transferencia de datos de telemetría desde el satélite a receptores terrestres. (Experimento de Voz Digitalizada: EVOD).
  - Envío y recepción de mensajes en tiempo real entre 2 estaciones en cobertura.

Ventajas de los Satélites de Orbita Baja.

A pesar de la gran ventaja que poseen los satélites geoestacionarios de permitir comunicaciones

Figura 2

Figura 3

instantáneas, el interés por los satélites LEO se mantiene, ya que tienen importantes ventajas:

- Son más económicos, tanto en su fabricación como en su puesta en órbita.
- Pueden cubrir zonas polares, que los satélites geoestacionarios no pueden alcanzar, lo que es importante para Chile por la proyección a la Antártica.

3.3. Experimento de Imágenes Terrestres

El satélite FASat-Bravo contiene dos cámaras de imágenes en rango visible, una de **campo amplio** *(baja resolución)* y otra de **campo angosto** *(resolución media)*, ambas alineadas en la misma dirección.

La cámara de campo amplio **(WAC)** tiene una resolución media de aproximadamente 1500 m.**(figura 2 y 5).** En tanto que la de campo angosto **(NAC)** tiene una resolución de aproximadamente 150 m. **(figuras 3, 4).**

3.4. Experimento de Navegación con GPS.

Este experimento determinará la posición del satélite en el espacio, utilizando la constelación de satélites GPS de USA. Esta capacidad permitirá una cierta autonomía con respecto a la determinación de los parámetros orbitales que actualmente se obtienen de la información pública proporcionada por el Comando Espacial de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos. El experimento consta de un receptor especial para uso en el espacio que, conjuntamente con un software dedicado, permitirá determinar la posición del satélite.

3.5. Experimento para Almacenamiento de Datos (SSDRE)

Esta carga experimental es una unidad de almacenamiento de datos, basada en una tecnología aún no disponible comercialmente de memorias apiladas.

Cada sistema del FASat-Bravo podrá utilizar ésta memoria a través de la red de área local. El mayor beneficio se logrará en los experimentos de Monitoreo de la Capa de Ozono (OLME) y de Imágenes Terrestres (EIS), ya que se podrán almacenar más de 300 imágenes de una sola vez.

4. EXPERIMENTO EDUCACIONAL

Este experimento permitirá hacer participar a la comunidad escolar de la operación restringida del satélite, de manera de incentivar a los jóvenes en la utilización del espacio y la tecnología disponible.

El objetivo de este experimento es que los jóvenes podrán establecer contacto con el satélite, enviando y recibiendo mensajes como también descargar archivos disponibles en éste. Con ello se desea crear conciencia en las nuevas generaciones de la utilización del espacio con fines pacíficos.

No obstante, los establecimientos educacionales que participen necesariamente deben ser dotados de un equipamiento especializado.

En la actualidad se está desarrollando un programa piloto para la ejecución del Experimento Educacional. Este proyecto será implementado en dos establecimientos educacionales en áreas extremas del país: uno en la escuela de Villa Las Estrellas, en la Base Antártica Chilena Presidente Eduardo Frei y otro, en la escuela de la Base Aérea de Cerro Moreno, en Antofagasta.

La primera etapa del proyecto incluye la implementación en estas dos escuelas del equipamiento necesario para la realización del experimento. Asimismo se gestionará como segunda etapa con el Ministerio de Educación, la posibilidad de hacerlo extensivo a otros colegios del país en el corto y mediano plazo.

Las imágenes de las **figuras 2 y 5** corresponden a la cámara **WAC** de la zona Austral de Chile y de Italia respectivamente, tomadas el 2 de abril de 1999.

Las imágenes de las **figuras 3 y 4** son de la cámara **NAC** y corresponden a la zona denominada "Angostura" en el Estrecho de Magallanes (figura 3), conexión del Océano Pacífico y Océano Atlántico y, a la zona de la Isla Grande de Tierra del Fuego (Puerto Arturo) (sector derecho de la imagen de la figura 4), mientras que en el sector izquierdo aparece la Isla Dawson.

Figura 4

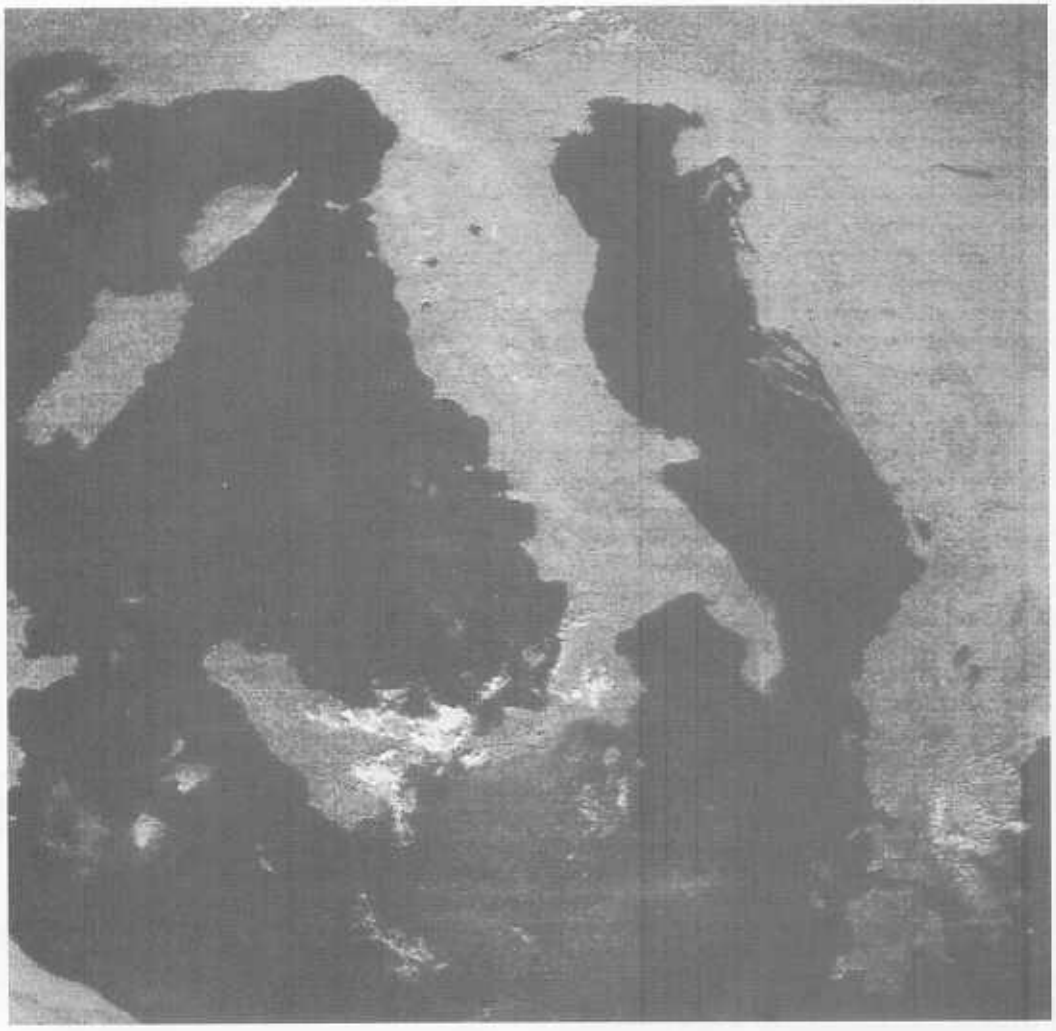


Figura 5

SEGUIMIENTO DE LAS CUBIERTAS VEGETALES POST- INCENDIOS FORESTALES EN LA ZONA MEDITERRANEA COSTERA DE CHILE

Víctor Quintanilla Pérez
Departamento de Ingeniería Geográfica
Universidad de Santiago, Chile
Alameda Bernardo O'Higgins, Santiago de Chile.
Tel.: (56.2) 6811100

Roberto Castro Ríos
Pontificia Universidad Católica de Chile.
Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal,
Vicuña Mackenna 4860 , Santiago, Chile.
Tel.: (56.2) 6865770 Fax: (56.2) 5520780. Email:rcastro@puc.cl

Resumen

Los incendios forestales en la zona mediterránea de Chile representan un fenómeno de la mayor importancia social, económica y ambiental. El Proyecto FONDECYT N° 1950313 se fijó como objetivo estudiar los efectos del fuego sobre los cambios de la vegetación nativa en Chile mediterráneo, entre aproximadamente los 33° y 34°45' latitud sur. Especial acento se da a la investigación sobre las formaciones predominantes que corresponden al bosque esclerófilo y al matorral resultante de la degradación del primero (Quintanilla, 1996).

El método para el análisis florístico está basado en la utilización de parcelas, líneas y censos para medir el recubrimiento y volumen de las plantas antes y después de los incendios y, en el análisis de imágenes satelitales para conocer la tendencia histórica de la vegetación en la ultima década.

Se presentan los resultados preliminares obtenidos para una área representativa del paisaje mediterráneo costero de Chile. Se concluye sobre los procesos de recuperación y degradación de los ecosistemas como consecuencia de la ocurrencia histórica de los incendios y sobre la utilidad de la utilización de índices espectrales como el Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), el índice de verdor relativo (IVR) y el índice de cambio en base a la normalización de los NDVI de dos fechas difrentes (NDVIc) (Castro, 1993).

1. INTRODUCCIÓN

Al igual que en otras zonas mediterráneas del mundo, el fuego ha sido un componente habitual en la evolución de los ecosistemas de gran parte del territorio chileno. (Trabaud, 1981). En Chile los incendios se encuentran presentes desde siempre y en especial en todas las zonas donde la actividad agroforestal y pastoral son las principales. Donoso (1990) estima que en la primera mitad de este siglo se habrían quemado en Chile alrededor de 1.200.000 hectáreas de bosques, equivalentes a 4 mil millones de pulgadas de madera.

En Chile, en la actualidad, los incendios forestales se producen entre los 33° y 38° grados de latitud sur, a lo largo de toda la temporada, que va desde noviembre a abril del año siguente. Los principales combustibles que se queman son bosques esclerófilos, matorrales, pastizales y plantaciones forestales de pinos y eucaliptos.

La zona de mayor riesgo corresponde también a la zona más densamente poblada y donde se concentran las mayores superficies de bosques introducidos ***(Pinus radiata),*** y la mayor actividad agrícola.

La causalidad del origen de estos fuegos es únicamente de tipo antrópico; tránsito, recreación, quema de desechos agrícolas, juegos de niños e incendiarios son los responsables de la casi totalidad de estos incendios.

Con esto la cubierta vegetal nativa, coayudada por otros fenómenos, se encuentra en sucesivos y rápidos cambios de composición y estructura debido a la alta frecuencia de incendios que se registran desde 1960 en la zona bajo estudio.

El tema, por consiguiente, reviste una vital importancia, de ahí que la ejecución de esta investigación tenga como objetivo estudiar los efectos de los incendios en la región mediterránea costera de Chile (proyecto FONDECYT 1950313) en un período de 30 años consecutivos. Los primeros resultados obtenidos para la zona cercana a la ciudad de Valparaíso y Viña del Mar son presentados en este artículo.

2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área se localiza en los 32° 40' de latitud sur **(figura 1)** y bioclimáticamente está inserta en un clima mediterráneo acentuado, presentando un largo período seco de verano, que llega a durar siete meses con déficit de precipitaciones (Quintanilla 1975), altas temperaturas y fuerte circulación de vientos, todo lo cual genera condiciones favorables para el inicio y propagación de los fuegos.

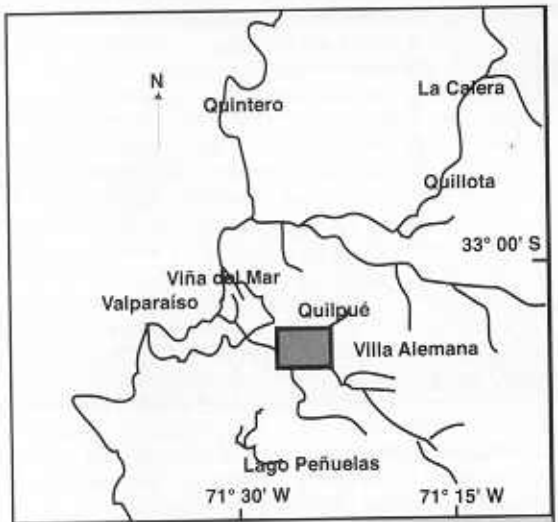


Figura 1.
Area de Estudio

Otros factores que actúan junto con las condiciones meteorológicas en la zona son las características de la vegetación; los árboles son esclerófilos, los arbustos en general son deciduos y las hierbas son terófitas o geófitas con descanso estival. (Villaseñor, 1990).

El bosque esclerófilo húmedo y mesotérmico es típico de la zona, predominando las comunidades de ***Cryptocaria alba*** (peumo), ***Peumus boldus*** (boldo), ***Beilschmiedia miersii*** (belloto) y ***Quillaja saponaria*** (quillay) en los fondos de quebradas y sobre laderas de exposición sur; en tanto que en exposición norte y suaves pendientes o en fondos planos son más constantes los bosques de ***Quillaja saponaria, Schimus latifolius*** (molle) y ***Lithrea caustica*** (litre), dada la estructura continua de este último tipo de bosque, resultan ser las más afectadas por el fuego.

En sectores de alta humedad freática y próximos a cursos de agua se desarrollan bosques de tipo higrófilo, con presencia principalmente de ***Crinodendron patagua*** (patagua), ***Myrceugenia exsucca*** (arrayán) ***y Aristotelia chilensis*** (maqui).

Entre la vegetación arbustiva, destacan los matorrales xéricos de laderas de solana, fundamentalmente en exposición norte y con predominancia de comunidades de ***Colliguaja odorifera*** (colliguay), ***Trevoa trinervis*** (tebo), ***Flourensia thurifera*** (maravilla del campo) junto a las comunidades xéricas de ***Puya chilensis*** (chagual).

Estas comunidades son altamente vulnerables a los incendios por su calidad de deciduas de verano y por su abundante estrato herbáceo. Por otra parte, producto de la continua intervención humana, existen comunidades secundarias las cuales resultan ser degradaciones intensas del bosque primitivo y que actualmente han dado paso a la formación llamada matorral esclerófilo. Otras agrupaciones son consideradas como el producto final de una serie sucesiva de degradación de primitivos matorrales, es el caso del "espinal" de ***Acacia caven*** y el matorral bajo con dominio de ***Baccharis rosmarinifolia.*** Todas ellas al desarrollar una fisonomía abierta mantienen un estrato herbáceo muy abundante, el cual se seca en verano. Estas agrupaciones actualmente cubren una gran parte de la superficie de la Región, lo que incide fuertemente en la ocurrencia de incendios en estos sectores.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Las quebradas y laderas periféricas a las ciudades de Valparaíso y Viña del Mar corresponden a zonas de gran ocurrencia histórica de incendios. En los últimos incendios, ocurridos en 1996 y 1997, se tomaron muestras representativas y se instalaron seis parcelas de 60 por 40 metros, que se caracterizaron y en ellas se estudió el comportamiento de la vegetación post-incendio.

Las parcelas se encuentran al interior de las zonas quemadas, que comprenden 410 hectáreas de plantaciones de pino insigne, eucaliptus, matorral esclerófilo, palmas chilenas ***(Jubaea chilensis)*** y pastizales. La vegetación quedó destruida aproximadamente en un 70% y debe señalarse que estos sectores en los últimos 15 años, se habían quemado en siete oportunidades.

Las parcelas instaladas representan sectores no quemados, sectores con quema superficial y sectores con incendio de copa. En todas las parcelas se llevan a cabo muestreos fitosociológicos de árboles y arbustos, aplicando el método de punto interceptado (Muller et al, 1974) para tener una referencia cuantitativa de la vegetación previa y posterior a los incendios. Estas mediciones se han hecho aproximadamente cada 35 días en un tiempo de dos años. Se calcula también la altura y volumen iniciales de los individuos (la talla que virtualmente tendrían antes de ser quemados) considerando la altura de los palos quemados y el diámetro probable de cobertura de la copa, así como la secuencia de la relación de ocupación de los espacios libres, entre especies preexistentes y nuevas.

Después de dos años de producidos los últimos incendios y entre un año y el siguiente en que se sucedieron nuevos fuegos (1996-1997), se anotaron los individuos rebrotados, no rebrotados (muertos) y nuevos de cada especie encontrada, a partir de lo cual se obtuvo el porcentaje de rebrote, mortalidad y capacidad de colonización en el área.

Complementariamente se ha realizado un método de análisis de la tendencia histórica de la vegetación, en estas zonas, basados en diferentes índices espectrales derivados de imágenes satelitales de los programas SPOT y LANDSAT (HRV, MSS y TM), entre los años 1985 y 1996.

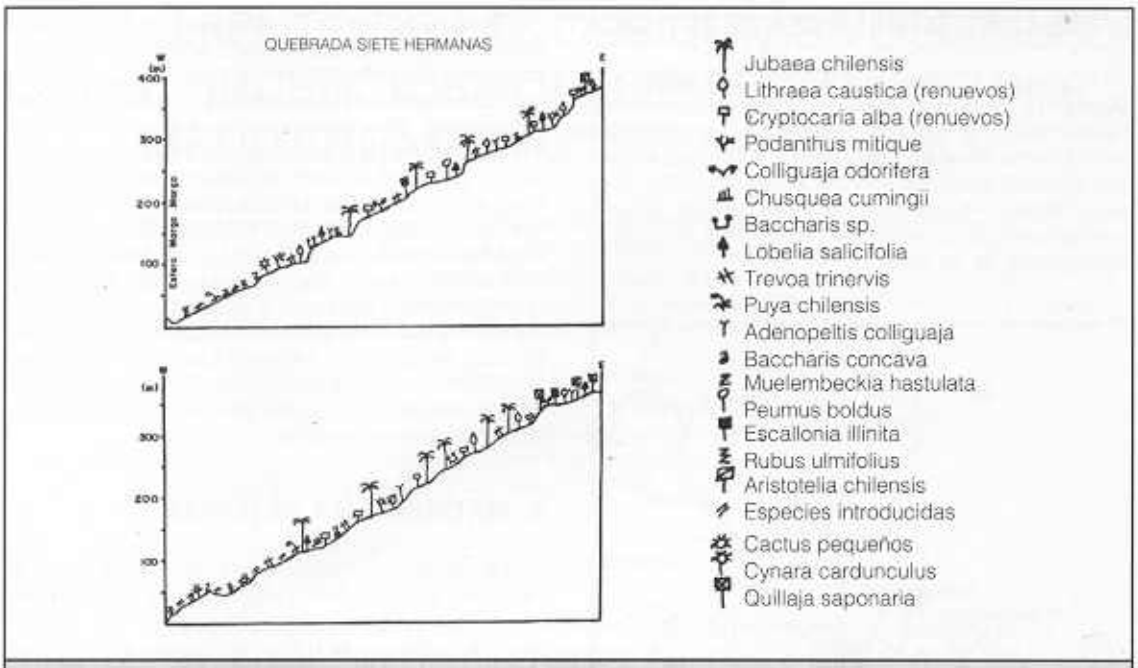


Figura 2
Vegetación en quebrada Siete Hermanas

El método se basa en la utilización de los siguientes índices:

a) El Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), escalado entre 0 y 200 (Castro, 1993).

$$NDVI = \left(\frac{(IRcercano - ROJO)}{(IRcercano + ROJO)} + 1\right) x 100$$

b) Indice de verdor relativo (IVR)

Indica el verdor de cada pixel en relación al rango (mínomo y máximo valor) de NDVI observado en los tres años estudiados.

$$IVR = \frac{(ND - NDmin)}{(NDmax - NDmin)} \times 100$$

Donde:
ND : Índice de Vegetación observado para cada año
NDmin : Valor del índice de minoría del pixel
NDmax : Valor del índice de mayoría del pixel

c) Indice de cambio (NDVIc)

Este índice es el análisis de cambio vegetacional medido entre dos épocas diferentes a través de los correspondientes índices de vegetación (NDVI) (Castro, 1994).

$$NDVIc = \left(\frac{(NDVI97 - NDVI87)}{(NDVI97 + NDVI87)} + 1\right) x 100$$

Con estos índices se obtuvo la tendencia de la vegetación y la dinámica de cambio ocurrida en un periodo de 10 años.

Previamente a la creación de los índices se procedió a realizar las correcciones geométricas y radiométricas, así como los ajustes en el tamaño de la celda, la que quedó definida en 20 metros.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La descripción inicial de la vegetación existente, apoyada mediante perfiles y descripción botánica, se expresa en una clara distribución altitudinal, tal como se muestra en la **figura 2,** para la quebrada "Siete Hermanas" en ambas exposiciones (solana y umbría).

Señal del efecto inmediato de los fuegos fue la combustión total de los estratos herbáceo y arbustivo y alrededor de un 50 a 60% del arbóreo y, los suelos de las quebradas con pendiente superior al 15% evidenciaron claras muestras de procesos erosivos.

Evolutivamente el fuego ha actuado como un organismo de selección sobre las plantas, aumentando el rebrote de yemas, incremento de floración o retención de semillas. Por ejemplo en el caso del eucalipto se encontró un rebrote de yemas protegidas por la corteza; en litre incremento de la floración, por ser esta una planta resistente al fuego; y, en algunos arbustos y árboles, retención de semillas dado que la planta espera condiciones favorables para su desarrollo.

En las comunidades recién quemadas se encontró un alto desarrollo herbáceo, atribuible tanto a la liberación de semillas retenidas por las plantas como a la germinación de las semillas transportadas desde fuentes vecinas o bien que permanecían bajo reposo en el suelo.

En las quebradas las Siete Hermanas se detectó que un importante número de laderas expuestas al norte y con

pendientes entre un 10 y 15% poseen inicio o desarrollo pleno de procesos erosivos como producto del efecto del fuego que determinó pérdida de la cubierta vegetal y del sustrato.

Se detectó, también, la pérdida de las semillas del sustrato lo que se traduce en el retardo de la eventual regeneración del paisaje. Considerando esto último puede pensarse que la composición florística de la comunidad puede ir variando, lo que también constituye una alteración del ecosistema. No obstante, y de acuerdo con Avil et al (1988), comprobamos que en el área existen especies llamadas pioneras como ***Muehlenbeckia hastulata, Baccharis rosmarinifolia y Eringium paniculatum,*** las cuales tienden aquí a colonizar espacios abiertos dejados por el fuego.

Después del incendio, gran parte de la vegetación quemada tiende a recuperarse, pero no se restablece la misma estructura y fisonomía del paisaje preexistente antes del fuego; este proceso se inició, con ***Eringium paniculatum*** a los 27 días de acaecido el incendio.

A poco tiempo de producidos los incendios comenzó el rebrote de plantas activadas por la humedad de la neblina costera, a los 23 días se detectó en laderas de exposición al mar próximas al aeródromo de Rodelillo, el rebrote de ***Eringium fasciculatus,*** arbusto perenne de 60 a 80 cm. de altura. Entre los árboles, se observó que el litre rebrota a partir del lignotuber produciendo ramas nuevas que nacen de un mismo punto más o menos después de 45 día del paso del fuego. Otro árbol con regeneración relativamente rápida en el lugar es el peumo, pero su rebrote se ve frenado por roedores y ganado vacuno que se alimentan de renuevos.

Entre los arbustos, ***Muehlenbeckia hastulata*** (arbusto semitrepador), ***Podanthus mitique y Baccharis rosmarinifolia*** demostraron una mayor capacidad de recuperación y colonización. Observamos que no ocurrió lo mismo con otros importantes arbustos del matorral mediterráneo chileno como: ***Trevoa trinervis, Colliguaja odorifera, Baccharis paniculata, Asemia phylloides y Asemia arborea.***

Otra respuesta detectada en las áreas de arbustos recuperados después del fuego es la gran cantidad de flores que se desarrollan en la primera estación de crecimiento, luego de quemados, lo cual es atribuible en parte al aumento de la intensidad lumínica a que quedan expuestas las plantas. En lo que respecta a la cubierta herbácea del matorral, después de las primeras lluvias comienza a recuperarse rápidamente.

Al final de estos dos años de observaciones se denotan cambios importantes en la cubierta herbácea, especialmente en el tamaño y número de individuos por unidad de superficie (densidad). Existen especies nativas que tienden a disminuir su densidad, en cambio las introducidas tienden a aumentar significativamente. Es el caso de las malezas: ***Avena barbata, Erodium cicutarium, Urtica urens y Carduns pynocephalus.***

Por otra parte los resultados obtenidos a partir de los índices espectrales de tendencia general de la vegetación son concordantes con los anteriores.

En primer lugar las imágenes en composición infrarrojo convencional indican: para el año 1985 la presencia de una zona quemada en el sector centro izquierdo, en color verde oscuro y una vegetación vigorosa en la parte inferior (color rojo intenso), mientras que el resto de la imagen indica la presencia de matorrales, áreas descubiertas y pastos naturales (en colores amarillos y blancos). En el caso de la imagen de 1987, las zonas quemadas se encuentran en el sector derecho y superior de la imagen y, en el año 1996 el área quemada corresponde a una zona extensa en el centro derecho de la imagen, que aparece con color verde oscuro. Todo esto da cuenta de la alta ocurrencia de incendios a que se encuentra sometida la zona bajo estudio **(Figura 3).**

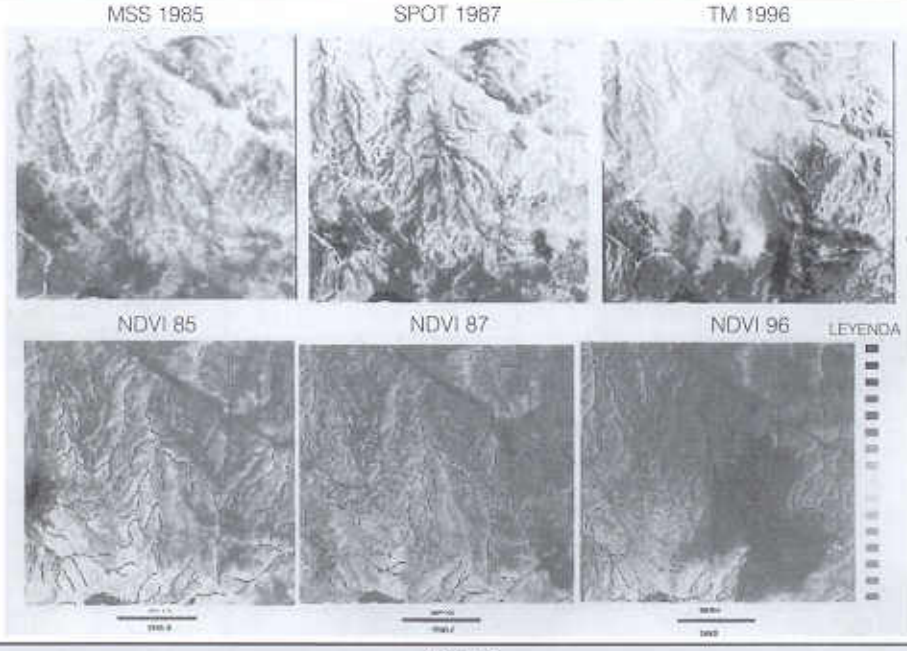


Figura 3
Imágenes y NDVI

Las imágenes correspondientes al NDVI, entregan como resultado la ubicación de las zonas con mayor vigor vegetacional en cada año, así como las zonas desprovistas de vegetación. La tendencia, al comparar los NDVI de los tres años, es a una fuerte diminución de la vegetación.

En cuanto a los índices de verdor relativo (IVR) y cambios (NDVIc), **figura 4,** nos entregan la siguiente información:

i) El IVR en 1985 indica una fuerte tendencia al máximo verdor en la casi totalidad del área, mientras que en 1987 esta tendencia se reduce a la parte central de la imagen y a la zona afectada directamente por incendios en 1985, la que se recuperó en el transcurso de los dos años. En 1996 la situación es totalmente diferente y el IVR nos indica que la mayoría de la superficie tiene una tendencia al mínimo vigor vegetacional. Esto es explicable por las condiciones de sequía que se presentó en esta zona durante la década y por el aumento de la superficie incendiada, situación que se encuentra claramente registrada en la imagen de 1996. Similares resultados en la aplicación de este índice son reportados para datos derivados del TM en el marco del NFDRS de Estados Unidos (Burgan, 1995).

ii) En relación a los índices de cambios (NDVIc) entre los años 1985-87 y 1987-96, se puede indicar en el primer caso, que existe una predominancia de las áreas sin cambios significativos, aumento de verdor en las zonas incendiadas en 1985, por recuperación de la vegetación y, por otro lado, disminución moderada y fuerte en las áreas incendiadas en el periodo 1986-1987, en concordancia con la intensidad del fuego.

En el NDVIc de 1987-96 se obtiene como resultado una zona claramente determinada de disminución moderada y fuerte de vegetación en concordancia con las superficies incendiadas en 1996, según intensidad. Son notarias también las zonas con aumento de vegetación en los lugares incendiados en 1987, por una fuerte recuperación de la actividad fotosintética y aumento de biomasa. La matriz de fondo corresponde a zonas sin cambios significativos.

5. CONCLUSIONES

Nuestras primeras conclusiones del avance de este estudio demuestran una gran similitud del efecto del fuego en el estrato arbustivo y arbóreo, con otros incendios estudiados, en vegetación nativa, para zonas comprendidas en el área mediterránea, correspondiente a un parque nacional de esta misma Región (Villaseñor y Saiz, 1990).

Se observó, a lo menos al año de producidos nuevos incendios en las parcelas seleccionadas en el área de estudio, que existe posteriormente un alto porcentaje de recuperación y renovación de la vegetación. Ello puede llevar al principio, a conclusiones distorsionadas creyéndose entonces que para estos ecosistemas el fuego no causa daños importantes en la vegetación mediterránea de Chile. No obstante la degradación y hasta eliminación de comunidades post-incendio es evidente y cada vez más sostenida.

Aunque se reconocen agrupaciones arbóreas resistentes al fuego (litre, peumo) y arbustos tolerantes como ***Puya chilensis, Podanthus mitique, Baccharis rosmarinifolia y B. Paniculata,*** se va produciendo una alteración y degradación de las formaciones vegetales. Sobre todo, numerosos arbustos han pasado a la categoría de invasores ocupando el habitat que antes poseían por ejemplo árboles como ***Azara celastrina, Quillaja saponaria, Beilschmiedia miersii y Cryptocaria alba,*** en tanto que también se va modificando la estructura del bosque.

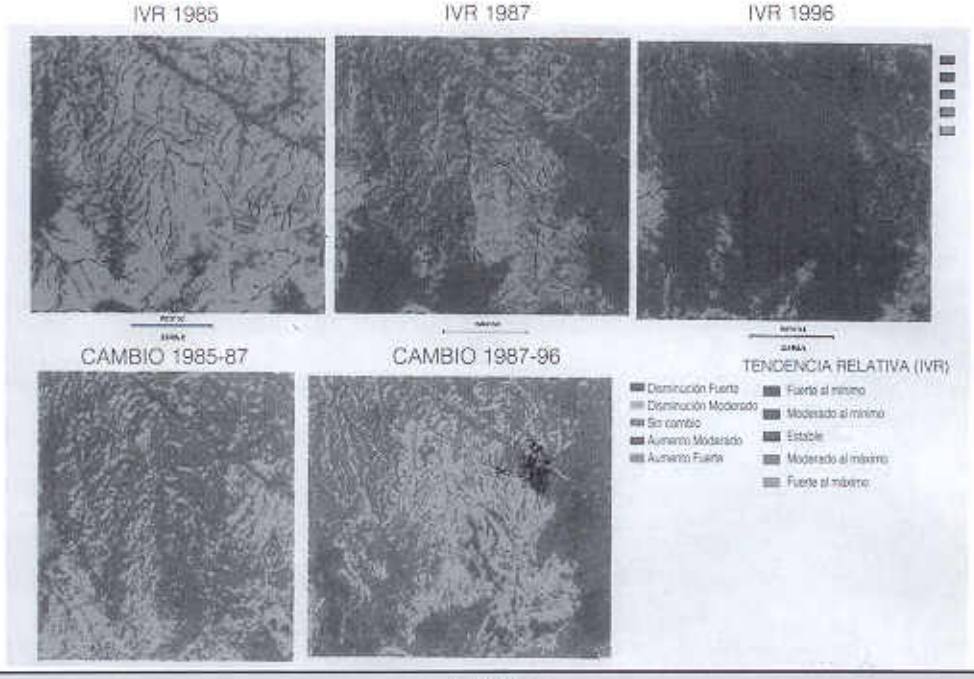


Figura 4
Indices de verdor relativo y de cambios

Particularmente ***Podanthus mitique*** y los ***Baccharis,*** actúan netamente como invasores ocupando espacios que antes del fuego pertenecieron a otras especies. La mayor penetración en ambientes húmedos por ejemplo, se produce por ***Chusquea curnmingii,*** bambúcea invasora y de reemplazo, la que cuando está seca se torna altamente combustible. En escala menor se encuentra también el caso de la zarzamora (***Rubus ulmifolius***).

El rebrote experimentado en árboles y arbustos resulta en una rápida recuperación del follaje perdido, con renovación de los órganos de la planta y variaciones de su forma original. Cuando los individuos del estrato arbustivo desarrollan brotes a partir de yemas subterráneas se generan renovales, reproduciéndose a través de una multiplicidad de tallos que emergen simultáneamente desde el suelo (Balduzzi et al, 1980). Según los especialistas chilenos, ésta es la forma más frecuente de recuperación de plantas arbustivas del matorral de Chile central

Por otra parte la penetración de malezas y hierbas exóticas es otro hecho notoriamente constatado, particularmente en los casos cuando los incendios han sido de superficie. Sólo la palma chilena ***(Jubaea chilensis)*** y la ***Puya berteroniana*** (chagual) no son afectados de manera importante por el fuego.

Los procesos erosivos son otro efecto ecológico de los incendios que en el área se constata con claridad. El efecto directo del fuego sobre las características físicas del suelo, se traduce en pérdida de humedad, remoción de hojarasca, disminución del espesor de la capa de humus y descomposición de arcillas. Precisamente para frenar la erosión en algunas laderas se impulsaron pequeñas plantaciones de ***Pinus radiata*** y, a menudo, estos pinares al incendiarse activan procesos erosivos.

Todo estas conclusiones son coherentes con la tendencia de la vegetación obtenida como resultado del análisis de los índices espectrales, que nos llevan a concluir que la vegetación tiene una tendencia a la disminución, debido a las condiciones de déficit hídrico que se han acentuado en la ultima década y por consiguiente a los incendios forestales, que tienen una alta ocurrencia histórica en toda el área de estudio. En especial es relevante la información obtenida mediante el Indice de Verdor Relativo (IVR) que muestra claramente la tendencia indicada.

En la medida que los fuegos de verano sigan sucediéndose en Chile mediterráneo, y apoyados por la irregularidad del clima, iremos observando importantes y tal vez extensos cambios espaciales sobre la vegetación nativa. El matorral semixérico recubre más del 50% de las colinas del relieve occidental de Chile central y esta formación es fundamentalmente, un resultante regresivo de la transformación del ecosistema primitivo a causa de los incendios forestales.

REFERENCIAS

ARAYA, S. y AVILA, G. 1981: ***Rebrote de arbustos afectados por el fuego en el matorral chileno.*** *An. Museo Historia Natural de Valparaíso, v. 14, pp107-113.*

AVILA, G., ALJARO, M. y MONTENEGRO, G. 1990: ***Incendios en la vegetación mediterránea,*** *In: Ecología del paisaje de Chile Central, pp 81-86. Ediciones Universidad Católica de Chile.*

BALDUZZI, A., SEREY, L., TOMASELLI, R. y VILLASEÑOR, R. 1980/81: ***New phytosociological observations on the Mediterranean type of climax vegetation of Central Chile.*** *Atti. Inst. Botanica Lab. Critt. Università Pavia s.6.XIV. pp 93-112.*

BURGAN, R. 1995: ***Use of Remotely Sensed Data for Fire Danger Estimation.*** *Proc. Remote Sensing and GIS Applications to Forest Fire Management. EARSEL. Universidad de Alcalá de Henares. España. pp 87-95.*

CASTRO, R. 1993: ***Clasificación Digital de Combustibles Forestales en la zona Mediterránea de Chile Central, a Partir de Imágenes de Alta Resolución y Modelos Digitales de Terreno.*** *Tesina de Investigación para optar a la suficiencia investigadora. 278 p. Programa Doctorado, Universidad Alcalá de Henares. España.*

CASTRO, R. 1994: ***Diseño de un Modelo de Riesgo Local de Incendios Forestales Utilizando Teledetección y SIG.*** *Caso de Estudio: Comuna de Valparaíso, Chile. Tesis Doctoral, Universidad Alcalá de Henares. España.*

DONOSO, C. 1990: ***Ecología forestal. El bosque y su medio ambiente.*** *Ed.Universitaria, Universidad Austral de Chile. 370pp. Aims and Methods of Vegetation Ecology. John Wiley and Sons, N.York, 574 p.*

QUINTANILLA, V. 1975: ***La Carta Bioclimática de Chile Central,*** *Rev. Geográfica de Valparaíso v.5, pp 33-58. Ediciones Universitarias de Valparaíso.*

QUINTANILLA, V. 1983: ***Biogeografía de Chile. v. III de Colección de Geografía de Chile,*** *233 p. Ediciones Inst. Geográfico Militar, Santiago.*

QUINTANILLA, V. 1996: ***Alteraciones por el fuego en la cordillera de la costa de Chile mediterráneo.*** *Antecedentes en un Parque Nacional. en Revista Pirineos CSIC Nº174, Zaragoza, España.*

TRABAUD, L. 1981: ***Man and fire impacts of mediterranean vegetation, in Mediterranean types schrublands Ecosystems.*** *Di Castri, Goodall and Sprecht (eds.) pp 523-637. Elsevier Scientyphic Publ.*

SISTEMA DE INFORMACION DE TIERRAS SIRT PARA LA EVALUACION Y OPTIMIZACION DE UN USO AGRICOLA SOSTENIBLE

Autor: Proyecto "Información sobre Tierras Agrícolas y Aguas para un Desarrollo Agrícola Sostenible" FAO GCP/RLA/126/JPN

Coordinador: Sr. Akihide Enoki; *Experto Aguas y Tierra:* Sr. Horacio Merlet;
Experto SIG: Sr. Enrique Castillo; *APO SIG* : Sr. Sergio Torres;
APO Sistemas Productivos: Sr. Arthur Mutsaers;
APO Uso de Tierra y Aguas: Srta. Johanna Gijsen; *Secretaria:* Sra. Loreto Valencia.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (ONU - FAO)
Dag Hammarskjold 3241 (Vitacura), Santiago, Chile.
Fono: 56 2 337 21 62, Fax: 56 2 337 21 64, E-mail: enrique.castillo@field.fao.org

Resumen

El proyecto "Información sobre Tierras Agrícolas y Aguas para un Desarrollo Agrícola Sostenible" FAO GCP/RLA/126/JPN, desarrolla una metodología para la recolección y manejo de información biofísica y socioeconómica, con el objeto de simular escenarios de uso de la tierra para apoyar la planificación agrícola sostenible. La metodología contempla el uso y desarrollo de herramientas SIG y de optimización además del uso de métodos de zonificación ecológica económica.

Palabras Claves: SIRT, Evaluación de Tierras, Uso, SIG, Evaluación Agroecológica

Abstract

The Project: Agricultural Land and Water Information for a Sustainable Agricultural Development, FAO/ GCP/RLA/126/JPN, contributes in the development of a methodology for the collection and management of information on natural and human resources, with the objective to simulate scenarios of alternative land uses to support sustainable agricultural land use planning. The methodology makes use of GIS-based land information systems, optimization models and methods of agroecological and socioeconomic zoning.

Keywords: Land Information Systems Land Evaluation, Land Use, GIS, Agro-ecological Evaluation

1. INTRODUCCION

La FAO define agricultura sustentable y desarrollo rural como *"el manejo y conservación de la base de los recursos naturales, y la orientación del cambio tecnológico e institucional, de manera de asegurar el logro y la continua satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones actuales y futuras. Dicho desarrollo conserva la tierra, el agua y los recursos genéticos vegetales y animales, no produce degradación ambiental, es técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable"*.

Este tipo de desarrollo se hace factible únicamente con la disponibilidad oportuna de información sobre las potencialidades y limitaciones de los recursos naturales con respecto a las diversas opciones de uso de la tierra, lo que es un requisito para la planificación de un desarrollo sostenible. El proyecto "Información sobre Tierras Agrícolas y Aguas para un Desarrollo Agrícola Sostenible" FAO GCP/RLA/126/JPN, desarrolla una metodología para la recolección y manejo de información biofísica y socioeconómica en seis países de América Latina: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay, con el objeto de simular escenarios de uso de la tierra para apoyar la planificación agrícola sostenible. El proyecto

Figura 1. Etapas de la Metodología General

inició sus actividades en enero de 1996 y tiene una duración de 5 años, hasta fines del año 2000.

Los objetivos generales del proyecto pueden ser resumidos de la siguiente manera:

- Mejorar la capacidad de los países participantes para conservar sus recursos naturales, tomando en cuenta la política agraria, el manejo de tierras y aguas, y la participación campesina;
- Efectuar una evaluación agroecológica y socioeconómica del potencial productivo de la tierra y proporcionar información al proceso de planificación;
- Fortalecer y mejorar la capacidad técnica de los organismos nacionales en el manejo de información integral.

2. MARCO GENERAL DE ACCION

El ámbito de acción conceptual del Proyecto y su desarrollo metodológico, se realiza dentro de un Sistema Territorial definido por las interrelaciones de dos Subsistemas: por un lado, el Subsistema Natural (biofísico) traducido en influencias que determinan en el tiempo un SITIO particular dentro del sistema territorial y por otro lado, el conjunto de perturbaciones antrópicas que se agrupan en los subsistemas Socio Cultural (que involucra las características demográficas, culturales y acceso a servicios de la población) y el Subsistema Económico Institucional (que se refiere a las características económicas, políticas e institucionales donde se inserta la población con sus sistemas productivos). Estos subsistemas generan perturbaciones al territorio expresados en el USO que se hace del territorio. Finalmente, el USO que se le da al SITIO determina un ESTADO o CONDICION en un momento dado.

El Proyecto ha priorizado metodologías que permiten visualizar estas interacciones del territorio, en donde la relación USO-SITIO determina un ESTADO, el cual a su vez, condiciona la calidad de vida de la población agrupada, en general, en Unidades Productivas.

En cuanto al marco de acción territorial, el Proyecto trabaja con 4 niveles territoriales: Nivel Regional, que se debe entender como Sudamérica; Nacional, que corresponde a cada país; Departamental, que corresponde a una división primaria o secundaria del territorio nacional y por último la Microcuenca, la escala de mayor detalle.

3. PROPUESTA METODOLÓGICA DEL PROYECTO (GENERAL)

La propuesta, básicamente, consiste en desarrollar un Sistema de Información del Recurso Tierra (SIRT) integrado,

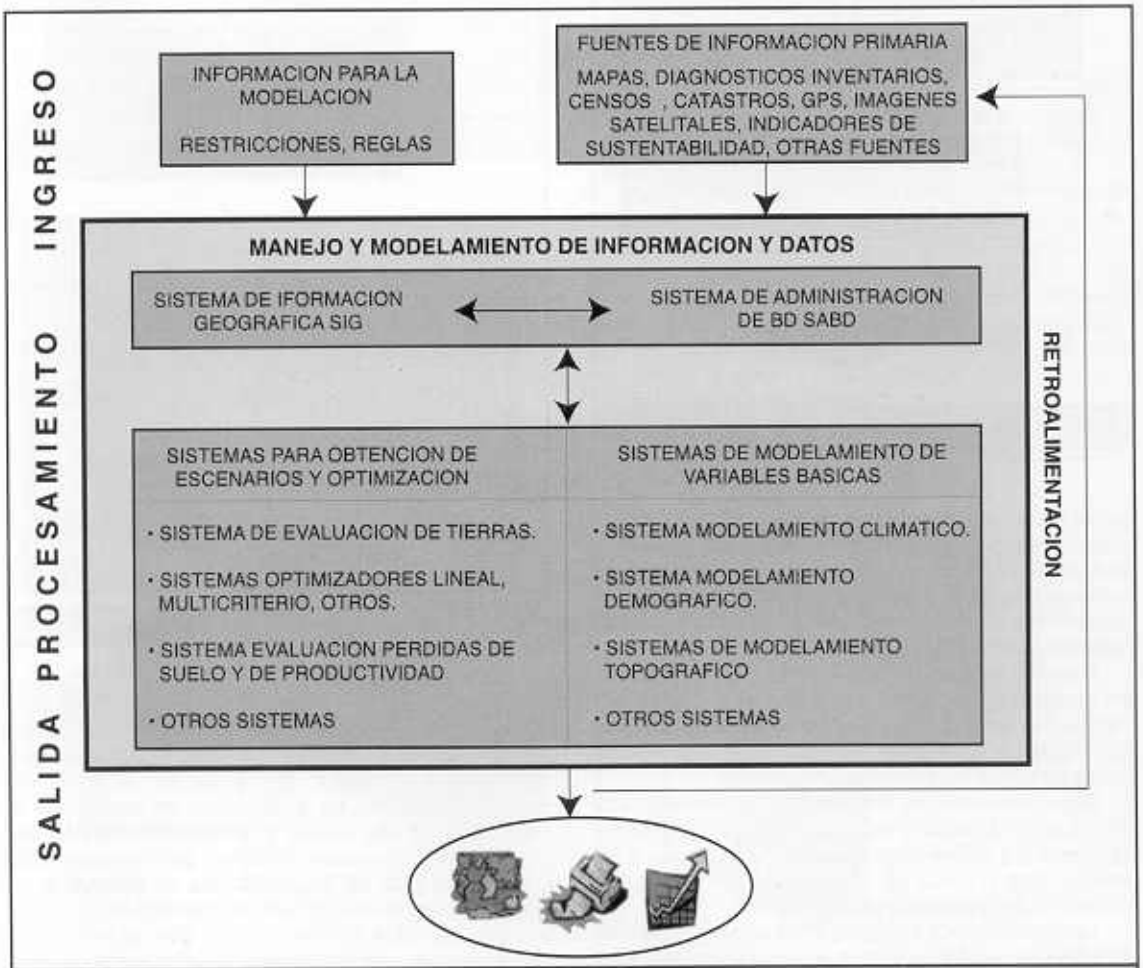


Figura 2. Esquema del SIRT

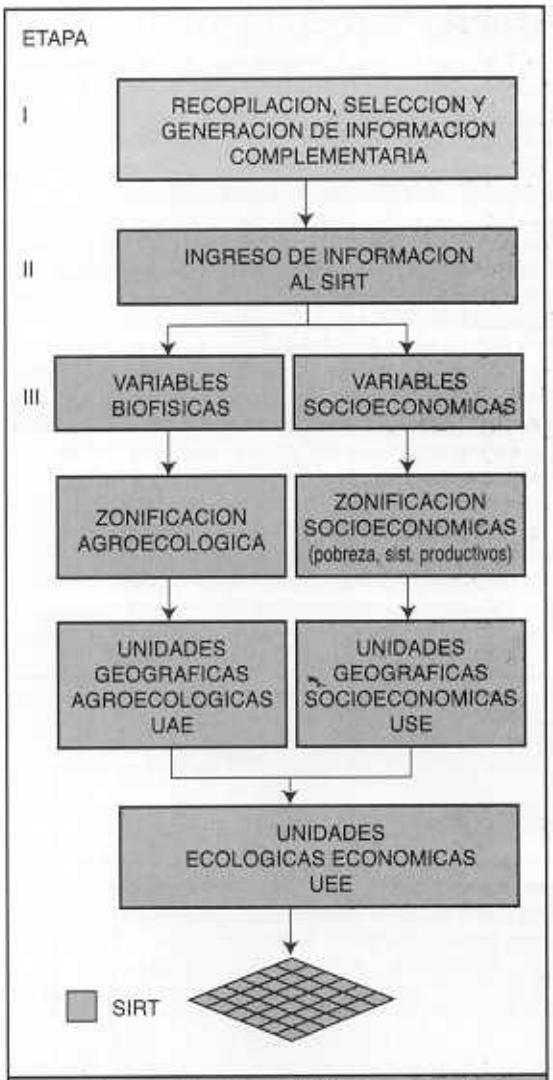


Figura 3. Diagrama en detalle etapas I, II y III

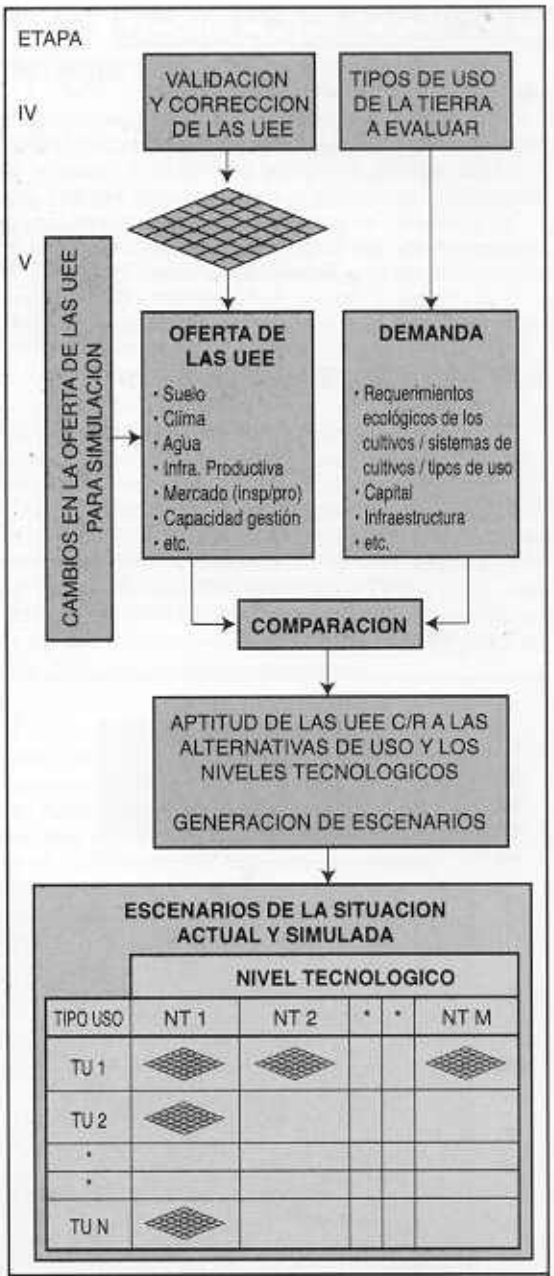


Figura 4. Diagrama en detalle etapas IV y V

que facilite el manejo de los diferentes tipos de información biofísica y socioeconómica que intervienen en un proceso de planificación del desarrollo agrícola, para generar escenarios de uso sostenible de la tierra (económicamente viable, socialmente aceptable, tecnológicamente implementable y ambientalmente sustentable).

Para ello se ha definido una secuencia de etapas o actividades **(figura 1)** que comienza con el acceso a la información, entendida como la identificación, selección, recopilación y generación de información de acuerdo principalmente a los propósitos del Sistema.

Posteriormente, la metodología contempla una estratificación del espacio físico y de la población, utilizando los umbrales y las variables pertinentes a los objetivos del estudio. Este proceso se conoce, comúnmente, como zonificación de unidades básicas de análisis.

Luego de identificar y caracterizar las unidades espaciales de análisis, se procede a definir su aptitud biofísica y viabilidad socioeconómica mediante una evaluación de la tierra según la metodología de FAO (1976, 1994).

Al disponer de las aptitudes de las unidades de análisis, expresadas en una gran cantidad de opciones de uso de la tierra, es posible, en la siguiente etapa, generar diversos escenarios de acuerdo a objetivos predeterminados. La evaluación de conflictos al incorporar el uso actual y la identificación de las restricciones de los usos potenciales, dará como resultado una optimización de los escenarios de acuerdo a los criterios proporcionados por el planificador. De esta manera, se habrá creado un SIRT cuyo objetivo es la determinación de escenarios de uso para un área determinada, con el fin de apoyar con esta información al proceso de planificación del uso de la tierra.

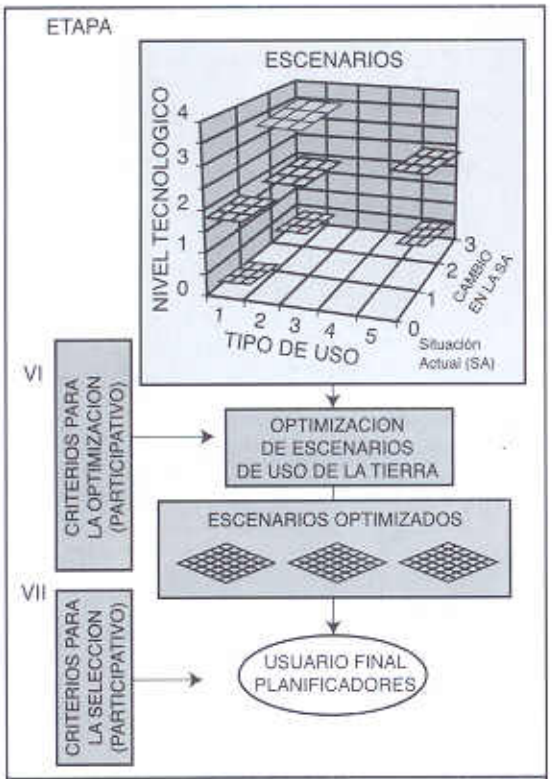


Figura 5. Diagrama en detalle etapas VI y VII

4. EL SIRT (DISEÑO LÓGICO)

El diseño lógico del SIRT **(figura 2)** incluye los apoyos en hardware y software además de los componentes lógicos para implementar el sistema. El SIRT está basado en un Sistema de Información Geográfica el cual se debe personalizar para presentar una interface de uso amistoso e interactuar con otros tipos de programas.

Procesos:

* **Ingreso de Información**

El ingreso de la información cartográfica se realiza por medio de una mesa digitalizadora y/o scanner. La información tabular es ingresada mediante la digitación a través de la creación de archivos de bases de datos. Toda la información ingresada es estructurada e integrada en un Sistema de Manejo de Base de Datos (SMBD).

* **Procesamiento de la Información**

Una vez ingresada la información al SIG y al SMBD, se establece una estructura de coberturas y de tablas relacionadas para iniciar el proceso de Zonificación. Posteriormente, se determina la situación actual y su tendencia a través de programas, por ejemplo, de evaluación de pérdidas de suelo y productividad, para luego identificar las aptitudes de las unidades de análisis por medio de programas de evaluación de tierras. Con los resultados de la evaluación de tierras se inicia el proceso de generación y determinación de los escenarios óptimos en dónde se utiliza programas optimizadores.

* **Salida de resultados**

Posteriormente, el sistema debería estar posibilitado de generar resultados en diversas formas, como: mapas a gran escala, mapas para informes, reportes, tablas de las bases de datos y archivos.

5. METODOLOGIA (DETALLE)

I. La recopilación y diagnóstico de la información, consiste en identificar La disponibilidad de la información existente, el diagnóstico de esta y la generación de información complementaria a ser utilizada (figura 3);

II. El ingreso de la información al Sistema de Información del Recurso Tierra (SIRT), que es básicamente el ingreso de la información geográfica (mapas) y la información alfanumérica de los atributos de los mapas e información complementaria, por medio de los procesos de digitalización y digitación respectivamente. Este proceso incluye la generación de un sistema de bases de datos gráfica y alfanumérica (SIG y SMBD respectivamente). Ver **figura 3;**

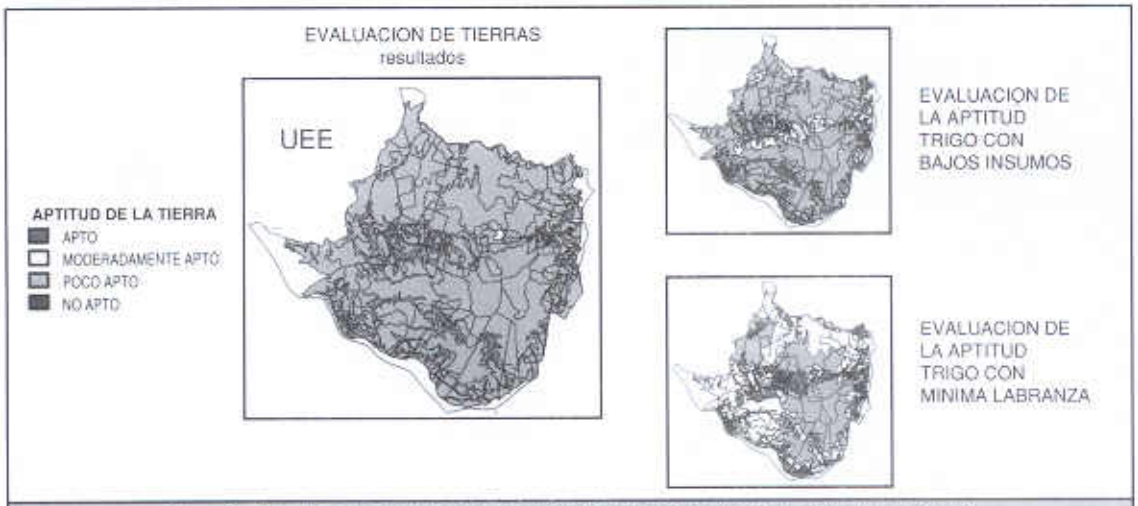


Figura 6. Resultado de la evaluación de aptitud del trigo bajo distintos niveles tecnológicos. Comuna de Portezuelo, Octava Región de Chile.

RESULTADO OPTIMIZACION DE ESCENARIOS DE USO PARA LA COMUNA DE PORTEZUELO, OCTAVA REGION CHILE (Ejemplo)

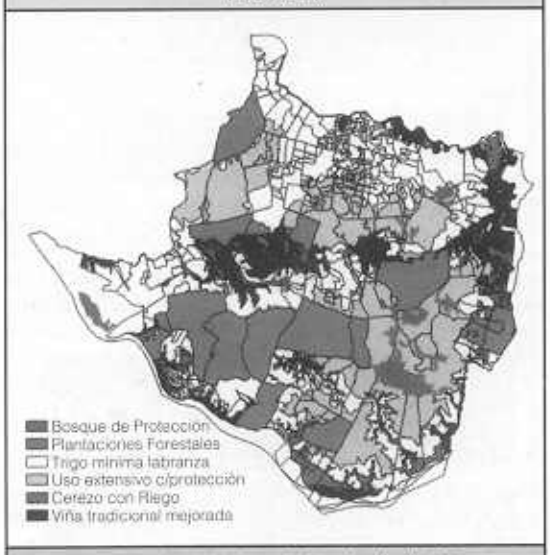


Figura 7. Resultado de la optimización de distintos usos para la Comuna de Portezuelo, Octava Región de Chile

III. La definición de las unidades básicas de análisis, que consiste en la generación de unidades geográficas biofísica y socio-económicamente homogéneas, las que se obtienen mediante la "sobreposición" de las variables biofísicas con las socioeconómicas, previo a los procesos de zonificación respectivamente, obteniéndose las Unidades Ecológicas Económicas (UEE), en las que se vierte toda la información socioeconómica y biofísica **(figura 3);**

IV. Validación de la información y Definición de la Situación Actual. A través de algunas técnicas de levantamiento rápido de datos, se debe validar y corregir la información que se ingresó al sistema y generar el modelo de la situación actual (escenario actual). En forma paralela, aprovechando la información recopilada, se debe obtener e ingresar al sistema la información de los Tipos de Uso de la Tierra (TUT) actuales y potenciales e identificar los sistemas agropecuarios. Al final de este proceso es posible que las UEE hayan sido modificadas **(figura 4);**

V. Determinación de aptitudes de la tierra para la situación actual y para cambios de algunas condiciones en ella. Una vez validada la información se procede a establecer un marco general de condiciones para un análisis particular. En base a las condiciones dadas, se procede a la determinación de aptitudes de la tierra. El proceso consiste básicamente en emparejar los requerimientos que exige un TUT con la oferta del medio (UEE). La oferta determina el nivel de aptitud (óptimo, bueno, moderado, bajo, nulo) que tiene el medio para implementar el uso propuesto según las condiciones establecidas. Hay que señalar que un uso de la tierra particular pude ser implementado con distintos niveles tecnológicos.

Por cada situación de condiciones se obtiene un grupo de escenarios. Así, cada vez que se cambien las condiciones actual (por ejemplo, cambiar en las UEE el acceso a crédito), la evaluación de tierras generará un nuevo grupo de escenarios para los TUT evaluados. Los TUT y las condiciones en que se evalúan, serán insumos que provienen directamente de los planificadores y los beneficiarios finales en un proceso de planificación del uso de la tierra **(figura 4);**

VI. Selección de los escenarios factibles y óptimos. Se identifica el o los escenarios óptimos por grupo y con ellos se procede a la obtención de los mejores escenarios mediante un proceso de optimización. En este proceso, al igual que en el anterior, se requiere del insumo de los planificadores y de los beneficiarios **(figura 5);**

VII. Generación de resultados. Con los resultados e información generada, se procede a la entrega de informes, mapas, tablas, etc. como apoyo a los distintos niveles del proceso de la planificación agrícola sostenible **(figura 5);**

Consideraciones en la Metodología Propuesta

El presente desarrollo metodológico está basado en los siguientes concepos de FAO :

- La Zonificación Agroecológica Económica;
- La Evaluación de Tierras;
- Los Sistemas Productivos Familiares.
- La Planificación Participativa.

En cuanto al uso de técnicas de planificación participativa, ellas se utilizan para asegurar la implementación de la planificación.

6. RESULTADOS:

La metodología propuesta esta en proceso de prueba, para ello el Proyecto está realizando un estudio de caso en la Comuna de Portezuelo, Octava Región de Chile, en dónde se la está implementando y sometiendo a distintos requerimientos, de tal forma de hacer las correcciones necesarias, así como elaborar herramientas y programas que faciliten el uso del SIRT.

Desde ya se ha obtenido un sistema geográfico de información que permite evaluar la aptitud de distintos cultivos y también realizar procesos de optimización del espacio físico, obteniendo escenarios optimizados del uso (ver **figuras 6 y 7**).

BIBLIOGRAFIA

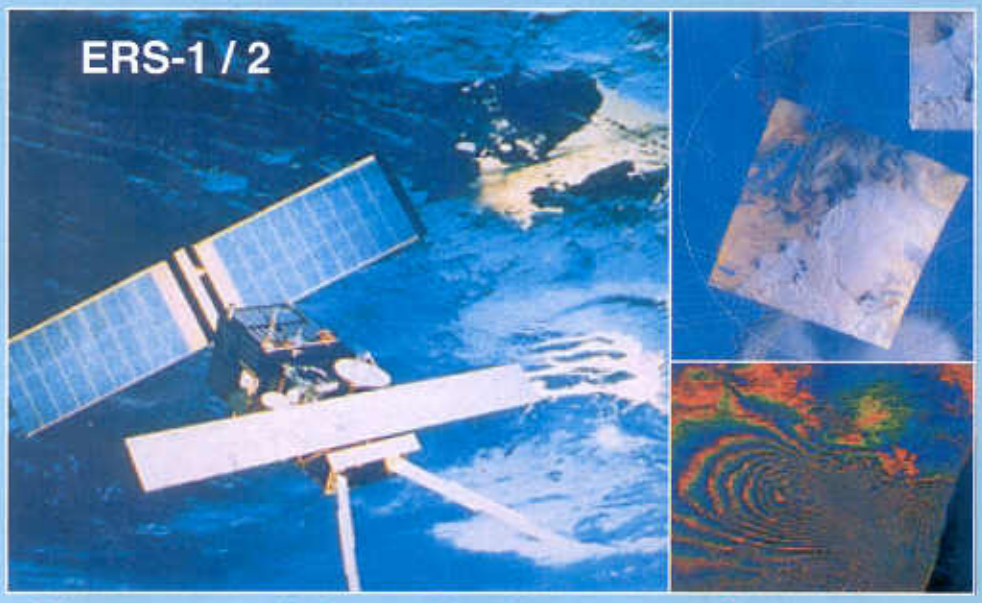
FAO. 1976. ***A framework for land evaluation.*** *Soils Bulletin 32. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.*

FAO. 1983. ***Guidelines: Land evaluation for rainfed agriculture.*** *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.*

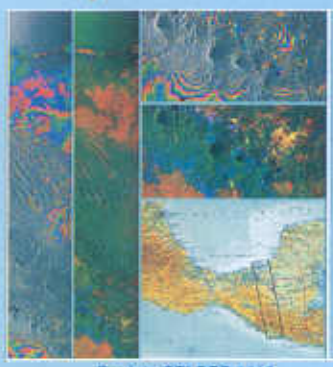
FAO 1996. ***Agro-ecological zoning Guidlines.*** *Soils Bulletin 73. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome*

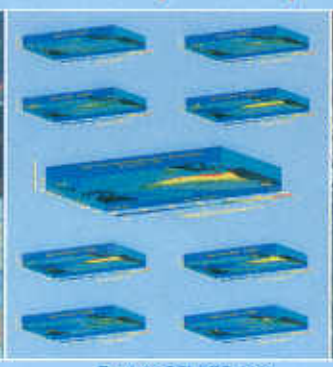
C.A. van Diepen., H. van Keulen., J. Wolf, and J.A.A. Berkhout. 1991. ***Land Evaluation: From Intuition to Quantification.*** *Advances in Soil Science, Volume 15. Springer-Verlag, New York.*

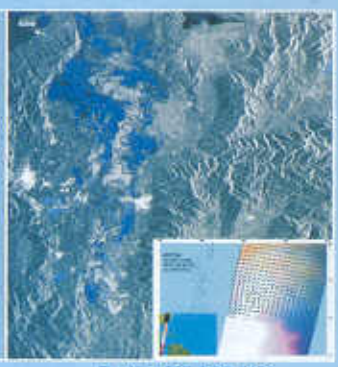
ISPRS
ISPRS
Amsterdam
THE NETHERLANDS
14-26 July 2000
XIX ISPRS CONGRESS
"GEO-INFORMATION FOR ALL"
Bandung
INDONESIA
t.b.d. 1999
ISPRS T.C. VI SYMPOSIUM
"Education and Communication"
Budapest
HUNGARY
1-4 Sept. 98
ISPRS T.C. VII SYMPOSIUM
"Resource and Environmental Monitoring"
Stuttgart
GERMANY
7-10 Sept. 98
ISPRS T.C. IV SYMPOSIUM
"Mapping and Geographics Information Systems"
Bangalore
INDIA
23-27 Feb. 98
ISPRS T.C. I SYMPOSIUM
"Sensors, Platforms and Imagery"
Hakodate
JAPAN
2-5 Jun. 98
ISPRS T.C. V SYMPOSIUM
"Close-Range Techniques and Machine Vision"
Columbus
U.S.A.
6-10 Jul. 98
ISPRS T.C. III SYMPOSIUM
"Theory and Algorithms"
Cambridge
U.K.
13-17 Jul. 98
ISPRS T.C. II SYMPOSIUM
"Systems for Data Processing Analysing and Representation"
KEY ISPRS EVENTS 1996 - 2000
• Global Planet and Asia Images by: © CEReS, Chiba University, Att: Chuo Mapping Co., Japan
• Europe Images: Collection 1996, DLR Germany • North America Image: ERIM, EROS, CCRS, NOAA
Design and Composition: M. Araya P. & F. Riquelme R. (SELPER / Chile)



ESA promueve el desarrollo y la cooperación internacional


Revista SELPER 1996


Revista SELPER 1997


Revista SELPER 1998

esa
european space agency
agence spatiale européenne

ESA - ESRIN
Via Galileo Galilei,
Casella Postale 64,
00044 Frascati (Roma),
ITALIA
Tel: (39.06) 94180.1
Fax: (39.06) 94180.280.
Att: Sr. Maurizio Fea (América Latina)

ESA - Asuntos Internacionales
8-10 rue Mario Nikis,
75738 PARIS Cedex 15, FRANCIA
Tel: (33.1) 5369.7443, Fax: (33.1) 5369.7627
Att: Sra. Valerie Hood (América Latina)

REVISTA - JOURNAL SELPER

VOL. 14, Nº 1-2, 1998

ECUADOR 1980 - 1983 | CHILE 1983 - 1986 | BRASIL 1986 - 1989 | ARGENTINA 1989 - 1991 | PERU 1991 - 1993 | COLOMBIA 1993 - 1995 | MEXICO 1995 - 1997 | VENEZUELA 1997 - 1999